

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Institut dopravy

**Využití letových a systémových dat dopravních
letadel pro bezpečnost a efektivitu letecké dopravy**

Utilization of Aircraft Flight and System Data for
Aviation Safety and Efficiency

Student:

Bc. Patrik Satek

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Vladimír Smrž, Ph.D.

Ostrava 2020

Zadání diplomové práce

Student:

Bc. Patrik Satek

Studijní program:

N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor:

2301T003 Dopravní technika a technologie

Specializace:

40 Letecká doprava

Téma:

Využití letových a systémových dat dopravních letadel pro bezpečnost a efektivitu letecké dopravy
Utilization of Aircraft Flight and System Data for Aviation Safety and Efficiency

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

Cíle DP:

- Uvést přehled dat generovaných systémy řízení dopravních letadel a jejich využití.
- Navrhnout možnosti využití systémových dat vysílaných telemetricky pro bezpečnost a efektivitu letecké dopravy.

Osnova DP:

1. Přehled všech typů dat generovaných systémy řízení dopravních letadel.
2. Obsah a formát jednotlivých typů dat.
3. Možnosti a způsoby využití generovaných dat.
4. Systémy pro telemetrické šíření systémových dat z dopravních letadel.
5. Možnosti využití systémových dat vysílaných telemetricky pro bezpečnost a efektivitu letecké dopravy.

Seznam doporučené odborné literatury:

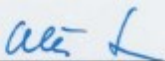
- ŽIHLA, Zdeněk. Letecká doprava I. V Praze: Vysoká škola obchodní, 2007. ISBN 978-80-86841-04-5.
BÍŇA, Ladislav, David ŠOUREK a Zdeněk ŽIHLA. Letecká doprava II. V Praze: Vysoká škola obchodní, 2007. ISBN 978-80-86841-07-6.
NOVÁK, Andrej, KANDERA Branislav. Moderní sledovací systémy v letecké dopravě: [vědecká monografie]. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2010. ISBN 978-80-7204-699-7.
Aerospace avionics systems. Valley Cottage, NY: Scitrus Academics, 2018. ISBN 9781681179834.
Ostatní veřejně dostupné zdroje.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Vladimír Smrž, Ph.D.**

Datum zadání: 20.12.2019

Datum odevzdání: 18.05.2020



prof. Ing. Aleš Slíva, Ph.D.
vedoucí katedry





prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 7. května 2020




.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo –diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 7. května 2020



podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Patrik Satek

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Zimmerlova 45, Ostrava 70030

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

SATEK, P. *Využití letových a systémových dat dopravních letadel pro bezpečnost a efektivitu letecké dopravy*. Diplomová práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, Ústav letecké dopravy, 2020, 61 s. Vedoucí práce: doc. Ing. Vladimír Smrž, Ph.D.

Diplomová práce se zabývá problematikou využití letových a systémových dat dopravních letadel. V teoretické části jsou popsány systémy pro generování a uchování dat včetně obsahu a formátu záznamů. V praktické části se primárně pracovalo s reálnými záznamy od provozovatele. Na základě dostupných dat byl sestaven postup pro rychlé třídění zpráv a generování databáze pro specializovaný software výrobce. Následně byla data podrobena analýze se zaměřením na trend vývoje parametrů letounu v čase a případné překročení kritických hodnot parametrů. Nakonec byl vytvořen modelový program v prostředí Microsoft Excel pro demonstraci možností rychlého vyhodnocení parametrů provozovatelem.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

SATEK, P. *Utilization of Aircraft Flight and System Data for Aviation Safety and Efficiency*. Master thesis. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Transport, Department of Aviation Transport, 2020, 61 p. Thesis head: doc. Ing. Vladimír Smrž, Ph.D.

Master thesis is focused on utilization of aircraft's flight and system data. Theoretical part describes various systems, which are dedicated to recording and preserving flight data including content and format of recordings. Practical part of thesis included work with recorded data. Based on available data, procedure for quick selection and database creation of relevant data was formed. Resulting parameter's values were afterwards analysed with focus on long term development and possible reach of critical values. Finally, using Microsoft Excel, a demoware was created to demonstrate possibilities of quick data analysis by operator.

Obsah

Obsah	7
Seznam použitých zkratk	9
Seznam použitých obrázků	11
Seznam použitých tabulek	12
1. Úvod.....	13
1.1. Cíl diplomové práce	15
2. Systémy pro sběr, uchování a přenos letových a systémových dat dopravních letadel.....	16
2.1. Zapisovače letových údajů	18
2.2. Zapisovače hlasu v pilotním prostoru.....	19
2.3. Zapisovače obrazu pilotního prostoru	20
2.4. Zapisovače komunikace datovým spojem.....	21
2.5. Letadlový integrovaný datový systém.....	21
2.6. Systémy pro telemetrický přenos dat letadlo – zem.....	23
3. Systém údržby dopravních letadel	26
3.1. Studované letouny	26
3.2. Systém prohlídek	27
3.3. Organizace odpovědné za letovou způsobilost (CAMO).....	28
3.4. Faktory ovlivňující spotřebu paliva.....	29
4. Možnosti využití letových dat pro zvyšování bezpečnosti a efektivity letecké dopravy	34
4.1. Selektce dat a vytvoření databáze.....	35
4.2. Analýza výstupu dat ze specializovaného software výrobce letadel.....	38
5. Návrh automatizace vyhodnocení dat pomocí SW MS Excel	49
5.1. Uživatelské prostředí a obsluha automatického vyhodnocení dat.....	49
5.2. Proces automatického vyhodnocení dat	52
5.3. Výstup automatického vyhodnocení dat	53

6. Závěr	57
Poděkování.....	59
Zdroje	60

Seznam použitých zkratek

Zkratka:	Význam v angličtině:	Význam v češtině:
°	Degree	Stupeň
°C	Degree Celsius	Stupeň Celsia
%	Percent	Procento
AIDS	Aircraft Integrated Data System	Letadlový integrovaný datový systém
ACARS	Aircraft Communications Addressing and Reporting System	Komunikační, adresný a hlásný systém
AIR	Airborne Image Recorder	Zapisovač obrazu pilotního prostoru
AIRCOM	digital air/ground communications services	Služba digitální komunikace vzduch / zem
CAMO	Continuing Airworthiness Management Organization	Řízení zachování letové způsobilosti
CVR	Cockpit Voice Recorder	Zapisovač hlasu v pilotním prostoru
DLR	Data Link Recorder	Zapisovač komunikace datovým spojem
DMU	Data Management Unit	Řídící datová jednotka
EASA	European Aviation Safety Agency	Evropská agentura pro bezpečnost letectví
ELT	Emergency Locator Transmitter	Polohový maják nehody
FAA	Federal Aviation Administration	Federální letecká správa
FDR	Flight Data Recorder	Zapisovač letových údajů
ft	Foot/ Feet	Stopa
G	Gravitational constant	Gravitační konstanta
ICAO	International Civil Aviation Organization	Mezinárodní organizace pro civilní letectví
kt	Knot	Uzel
MPa	Megapascal	Megapascal
ms	Millisecond	Milisekunda

N	Newton	Newton
PEP	Performance Engineering Programs	Programy pro výkonové inženýrství
ŘLP	Air traffic control	Řízení Letového Provozu
SITA	Société Internationale de Télécommunications Aéronautiques	Mezinárodní organizace pro leteckou telekomunikaci
ULB	Underwater Location Beacon	Zařízení pro určení polohy pod vodou
V_{so}	Stall speed with landing configuration	Pádová rychlost v přistávací konfiguraci

Seznam použitých obrázků

Číslo obrázku:	Jméno obrázku:	Strana:
1.	Graf vztahu mezi financováním bezpečnosti a konečným ziskem	14
2.	Pinger Locator	17
3.	Přístroj pro stahování FDR dat	19
4.	CVR	20
5.	Vytištěná zpráva 02	23
6.	Letoun A320	27
7.	Obálka povolených poloh těžiště	30
8.	Graf změny atmosférického tlaku s výškou	32
9.	Tryskové proudění	33
10.	Původní formát exportovaných zpráv	37
11.	Formát exportovaných zpráv po filtraci	37
12.	Graf změny degradačního faktoru v čase	42
13.	Graf s odhadem budoucího vývoje degradačního faktoru	43
14.	Graf poloh centráže	44
15.	Graf vztahu mezi hmotnostmi a DFFA	44
16.	Graf naměřených hodnot FFA ve vztahu k výšce letu	45
17.	Graf naměřených hodnot FFA ve vztahu k hmotnosti letounu	45
18.	Graf vývoje hodnoty N1 během času u letounu AAA	46
19.	Graf vývoje hodnoty N1 během času u letounu AAB	46
20.	Graf hodnot EGT během času u letounu AAA	47
21.	Graf hodnot EGT během času u letounu AAB	48
22.	Úvodní obrazovka programu	50
23.	Formulář pro vložení dat	51
24.	Výsledná obrazovka programu	54
25.	Detail výsledného grafu parametru DSR	55

Seznam použitých tabulek

Číslo tabulky:	Jméno tabulky:	Strana:
1.	Povinně zaznamenaná data FDR	18
2.	Seznam zpráv generovaných DMU	22
3.	1. část výstupu PEP	38
4.	2. část výstupu PEP	39
5.	3. část výstupu PEP	39
6.	Tabulka zkratk z PEP výstupu a jejich význam	40

1. Úvod

V informačním věku čelíme, ať už jako jednotlivec nebo společnost více lidí, nové výzvě. Nedostatek informací již není aktuální problém. Namísto toho nastávají situace, kdy je informací příliš mnoho a my nevíme které a jak použít. Tato situace se vztahuje i na letecký průmysl. Letouny se stávají stále složitějšími a provozovat je nyní lze pouze díky elektronickým systémům. Jejich úkolem je analýza rozsáhlé množiny dat, které letoun při svém provozu produkuje, a z nich vytvořit jednoduchý výstup, pro provozovatele snadno pochopitelný a použitelný. To ovšem neznamená, že provozovatel nemůže zbývající data zhodnotit. Dostupných dat bývá často takové množství, že lze vytvořit představu o stavu stroje bez potřeby samotné specializované prohlídky. Opačným případem, kdy je použito pouze nezbytné minimum informací, jsou situace, kdy stroj provádí operace, o kterých člověk ani neví. V 99 % případů to nemusí být ani postřehnuto, ale také může nastat případ, kdy se dostane člověk a stroj do konfliktu. Příkladem mohou být B737 Max a jejich Maneuvering Characteristics Augmentation System. Snaha zavést nový systém co nejlevněji vyústila v informační šum mající za následek chování letounu, které někteří piloti nedokázali správně interpretovat a které vedlo až ke katastrofě. Nástroj, původně sloužící ke zvýšení bezpečnosti, tak v důsledku snahy ušetřit při certifikačním procesu paradoxně zapříčinil zhoršení bezpečnosti letecké dopravy a způsobil firmě Boeing ohromné finanční ztráty.

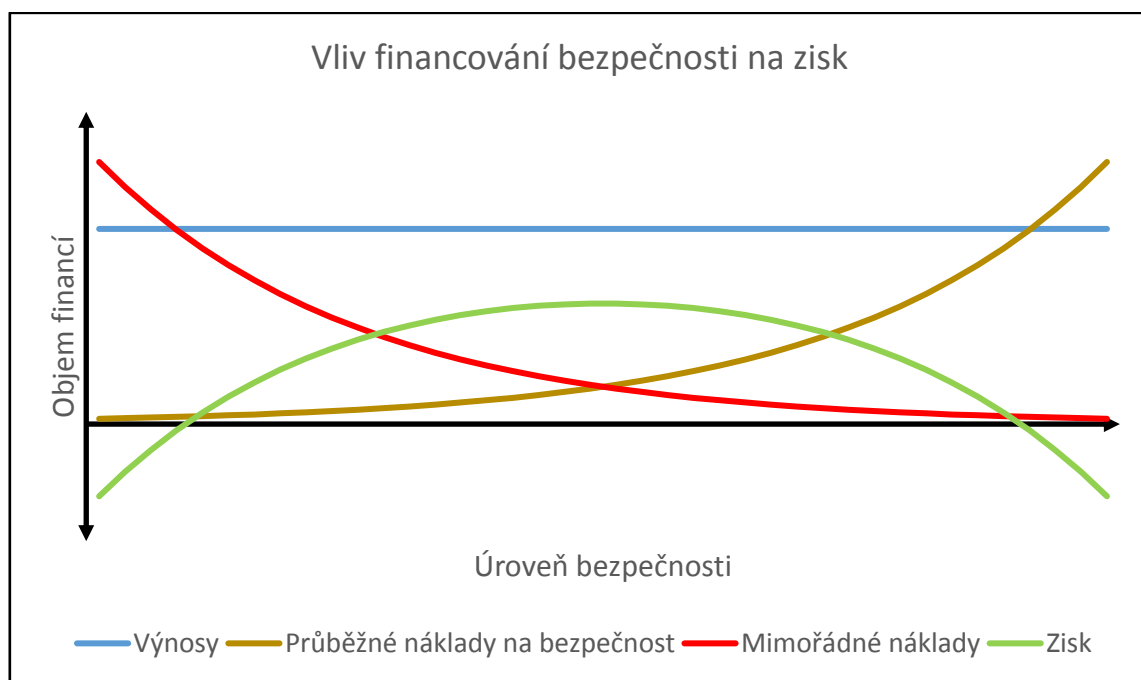
Profit je cíl, o který usiluje každý, a to platí i pro komerční letecké dopravce. Druhý cíl, který by měl patřit mezi nejvyšší priority dopravce, je bezpečnost. Praxe je naneštěstí taková, že tyto dva cíle mezi sebou často opravdu soupeří, neboť posílení jednoho může oslabit druhý. V extrémním případě může zanedbávání jednoho ve prospěch druhého vyústit v krach nebo dokonce katastrofu. Provozovatel, usilující o dlouhodobě vydělávající podnik, tedy nesmí bezpečnosti podcenit, ale zároveň si musí nastavit takovou úroveň, při níž je schopen celkově vydělávat a rozvíjet se.

Při všech fázích životního cyklu dopravního letadla (návrhu, certifikaci, výrobě, provozu nebo údržbě) musí být bezpečnost na maximální dosažitelné úrovni vzhledem na platné bezpečnostní standardy a dostupné finanční prostředky. Lze to jednoduše demonstrovat na letu samotném. Letoun nemůže, na rozdíl od jiných dopravních prostředků, v případě poruchy zastavit tam, kde se zrovna nalézá. Navíc letící stroj může znamenat ohrožení i pro své okolí, vzhledem k velké kinetické energii stroje, která může napáchat velké škody. Z tohoto úhlu pohledu by se mohlo zdát, že optimálním přístupem by bylo maximalizování

bezpečnosti. To ovšem není pravda a lze to deklarovat na jednoduchém, ale přesto pravdivém tvrzení: „Nejbezpečnější letadlo je to, které stojí na zemi“. Ačkoliv je to pravda, tak je na první pohled zřejmé, že letecký průmysl by nemohl takto fungovat.

A tím narážíme na druhý aspekt a tím je snaha o výdělek. Je přirozené, že každý z nás chce nejlepší výsledky s minimem vynaloženého úsilí. Při provozování letecké dopravy je to stejné. Nízké náklady a vysoký výnos je optimální kombinace, které ovšem není snadné dosáhnout. Jedna z možností je extrémní šetření, a to včetně na bezpečnosti. Vývoj, výroba, schvalování, osazení vybavením, servis nebo výcvik posádky jsou činnosti vyžadující nemalé zdroje, ať už finanční, lidské anebo časové. Jejich redukcí či úplným odstraněním by odpadly velké náklady, ovšem za cenu poklesu výkonu prvního cíle: bezpečnosti.

V praxi mohou nastat dva extrémní případy. Prvním je situace, kdy si vysoká úroveň bezpečnosti ukrojí z financí společnosti takovou částku, že na ostatní oddělení nezůstane dostatek. Výsledkem může být i krach společnosti. Na druhou stranu nízká úroveň bezpečnosti může mít za následek dříve nebo později katastrofu. Finanční dopad bude několikanásobně přesahovat ušetřené zdroje. Navíc takováto událost bude společnost stát nejen dobré jméno, ale hlavně způsobí tu nejhorší škodu. Ztrátu na zdraví a lidských životech. Oba extrémy jsou vyobrazeny na zjednodušeném grafu níže.



Obrázek 1: Schematický graf zobrazující vliv míry financování bezpečnosti na konečný zisk. [vlastní zdroj]

Ideálním přístupem je tedy udržovat mezi bezpečností a snahou o dobrý výdělek rovnováhu. Stanovit si priority, při kterých je společnost schopna prosperovat, ale zároveň si udržet aktuálními leteckými předpisy vyžadovaný standard bezpečnosti. Využít data, která letoun již poskytuje, k vlastnímu dohledu nad jeho správným fungováním.

1.1. Cíl diplomové práce

Cílem diplomové práce je uvést přehled dat generovaných systémy dopravních letadel včetně systémů pro telemetrický přenos těchto dat. Následně práce obsahuje návrhy, jak tato data využít v zájmu bezpečnosti a efektivity letecké dopravy.

2. Systémy pro sběr, uchování a přenos letových a systémových dat dopravních letadel

Nejznámější nástroje pro správu dat o letu jsou letové zapisovače, lidově nazývané také černé skřínky či anglicky black box. Jsou to zařízení určená pro sběr a uchování definovaných letových dat. Důvodem jejich zavedení je snaha o posílení bezpečnosti, neboť jejich primárním účelem je uchování dat o letu pro pozdější analýzu situace, která předcházela mimořádným událostem či přímo letecké nehodě. Z tohoto účelu je jasné patrné, že se jedná o zařízení, která musí vydržet extrémní namáhání, a přitom si udržet funkčnost.

Aby mohly letové zapisovače plnit svou funkci i po destrukci letounu, jsou samotná záznamová zařízení umístěna uvnitř ochranné schránky. Ta má kovový plášť a je vyplněna izolací. Schránka přístroje je zkonstruována tak, aby přežila extrémní zatížení jako:

- přetížení 3 400 G po dobu 6,5 ms,
- žár o teplotě 1 000 C po dobu 1 hodiny,
- ponoření v provozních kapalinách jako je hydraulická kapalina či olej po dobu 48 hodin,
- ponoření v mořské vodě po dobu 30 dnů,
- tlaku 60 MPa, což odpovídá hloubce 6 000 m pod vodou,
- zatížení 22 250 N po dobu 5 minut.

Tyto parametry se zakládají na průmyslovém standardu EuroCAE ED-112A, jehož obsah je placený.

Samotná záznamová zařízení uvnitř jsou rovněž navržena s ohledem na potenciální extrémní namáhání. V minulosti byla data zaznamenávána na magnetické či kovové pásky, ovšem dnes se používají elektronické paměti, které nemají žádné pohyblivé části.

Kromě odolného konstrukčního návrhu schránky je životnost záznamů zajištěna i vhodným umístěním uvnitř letounu. V ocasní části má zařízení při nárazu největší šanci na zachování integrity. Nejen kvůli tomu, že je při čelním nárazu nejvzdálenější, ale i díky skutečnosti, že se v prostoru sbíhají nosné prvky trupu, a tím pádem je v tomto místě konstrukce pevnější.

Aby bylo možné zapisovače mezi troskami snadno najít, jsou natřeny reflexivním nátěrem jasné oranžové barvy. Hledání je navíc ulehčeno pomocí různorodých vysílačů. Pokud zapisovač zůstane uvnitř trupu, pak je možné ho najít pomocí polohového majáku nehody neboli Emergency Locator Transmitter (ELT). Ten po automatickém aktivování, v reakci na vysoké přetížení, či manuálním zapnutí, začíná vysílat na tísňové frekvenci 121,5 MHz. Tento signál je zachytitelný pomocí satelitů. Nevýhodou ELT je, že nefunguje pod vodou. V případě ponoření zapisovače se aktivuje druhý vysílač. Underwater Location Beacon (ULB), česky zařízení pro určení polohy pod vodou, je umístěn přímo na černé skřínce. Účelem je lokalizace zapisovače, havaruje-li letoun do oceánu či jiné vodní plochy. Válcovité zařízení začne po namočení do vody vydávat zvukový pulz o frekvenci 37.5 kHz. Pulz se opakuje jednou za vteřinu, a to po dobu minimálně 90 dní. Tento signál už ale nelze snímat pomocí satelitů. Za účelem lokalizace se používá zařízení zvané pinger locator, zobrazené na obrázku níže. Jedná se o zařízení, které se ponořené vleče za pátrací lodí a je schopno zachytit signál ze zapisovače, jenž je až 20 000 stop hluboko.



Obrázek 2: Pinger Locator. [zdroj: 13]

Druhů zapisovačů existuje celá řada. Jedním z obecných způsobů, jak je rozdělit, je podle funkcí, které plní, tedy typem dat, která zaznamenávají a přechovávají. Dále lze černé skřínky rozdělit dle použitých technologií, respektive dle data výroby. Předpisově je rovněž kladen důraz na rozlišování přístrojů podle toho, do jakého stroje mají být nainstalovány. V dalších podkapitolách jsou různé druhy zapisovačů popsány z hlediska toho, jakou plní funkci.

2.1. Zapisovače letových údajů

Přístroj v angličtině nazvaný Flight Data Recorder (FDR) slouží ke sběru informací o letu, konkrétně průběhu rozličných parametrů letounu během letu. Hlavním důvodem tohoto počínání je ochrana informací klíčových pro rekonstrukci a analýzu stavu letounu při vyšetřování letecké nehody, pakliže nastane. Alternativní využití může spočívat ve využití dat k monitorování jednotlivých komponentů letadla za účelem efektivnějšího servisu. Avšak v praxi, je-li k dispozici přístupnější zdroj, se FDR používá pouze v případě vyžádání v důsledku problémů během letu. Jeden z možných přístrojů pro stahování a ukládání dat z FDR je zobrazen na obrázku na konci podkapitoly. Předpis L-6, jenž je založen na ICAO dodatku číslo 6, uvádí seznam letových parametrů, které musí FDR zaznamenávat. V tabulce níže je obsažen výňatek z předpisu. Je zde uvedeno 9 parametrů včetně přesnosti a rozsahu jejich záznamu. Tyto parametry jsou všemi FDR zaznamenávány povinně, bez ohledu na složitost stroje.

Parametr	Rozsah měření	Záznamové rozlišení
Čas UTC	24 hodin	1 s
Tlaková nadmořská výška	Od -1000 ft do maximálního schváleného dostupu letadla +5 000 ft	5 ft
Indikovaná nebo kalibrovaná rychlost letu	50 kt do maximální V_{so}	1 kt
Kurz	360°	0,5°
Normálové zrychlení	-3 G až +6 G	0,004 G
Podélný sklon	+/-75° nebo použitelný rozsah, je-li větší	0,5°
Příčný sklon	+/-180°	0,5°
Klíčování rádiového vysílání	Zapnuto/vypnuto	-
Výkon každého motoru	Celý rozsah	0,2 % celkového rozsahu

Tabulka 1: Seznam povinně zaznamenaných parametrů letu. [zdroj: 6]

Další povinně zaznamenávané parametry se odvíjejí od typu a stáří letadla a může jich být až 82. Tyto údaje jsou zvoleny tak, aby po případné nehodě bylo možné zrekonstruovat situaci předcházející incidentu či nehodě co nejvěrněji. Kromě samotného studování jednotlivých údajů lze použít i softwarové nástroje, které po vložení dat vytvoří animaci zobrazující poslední fáze letu letounu. Je tedy žádoucí, když je údajů co nejvíce, aby výsledný model prezentoval skutečný stav letounu co nejpresněji.



*Obrázek 3: Přístroj a datová karta pro stahování údajů FDR od společnosti Honeywell.
[vlastní zdroj]*

2.2. Zapisovače hlasu v pilotním prostoru

Jméno tohoto přístroje je jak v češtině, tak v angličtině, kde to je Cockpit Voice Recorder (CVR), mírně zavádějící. CVR totiž neslouží pouze k záznamu hlasu, ale všech zvuků z prostředí pilotní kabiny. Tedy kromě verbální komunikace mezi piloty navzájem zaznamenává komunikace pilotů skrze rádiové spojení, komunikaci s řízením letového provozu či zvuky okolí, jako jsou hlášení a varování přístrojů, zvuky přepínačů či hluk motorů. Přístroj se automaticky spouští ve chvíli, kdy je zapnutý aspoň jeden motor, a nahrává ještě několik minut poté, co jsou všechny motory vypnuty. Je zde rovněž možnost

manuálního zapnutí prostřednictvím ovládacího panelu umístěného na horním panelu pilotní kabiny. V každém případě uchovává CVR záznam z posledních 2 hodin. Tyto 2 hodiny se nahrávají ve smyčce, což znamená, že všechny starší záznamy se přemazávají. Je to trochu zarážející, ale některé stroje od Airbusu či Boeingu mají v kabině spínač, s jehož pomocí mohou piloti záznam vymazat, ovšem pouze za předpokladu, že je stroj na zemi a zabrzděn. To ovšem neznamená, že by byl záznam nenávratně ztracen, jen je složitější tento záznam získat. Další povinné vlastnosti přístroje jsou stejně jako FDR uvedeny v předpisu L-6. CVR je rovněž umístěn v ochranné schránce natřené oranžovou barvou, která je uložena v zadní části letadla. CVR a FDR bývají často umístěny hned vedle sebe. CVR má stejně jako FDR k sobě připojeno ULB, stříbrný válec v levém dolním rohu na obrázku níže.

Záznam CVR by se měl používat pouze za účelem vyšetřování letecké nehody. Při běžném letu se záznam neuchovává, tudíž nemůže být jeho výstup použit v této práci.



Obrázek 4: CVR vyfocen s viditelným ULB. [zdroj: 14]

2.3. Zapisovače obrazu pilotního prostoru

V anglickém jazyce pojmenován jako Airborne Image Recorder, je zařízení sloužící pro zaznamenání rozhraní letová posádka/letoun. Funkce spočívá v nahrávání: manipulace s ovládacími prvky, informací zobrazených posádce na primárních letových displejích a navigačních displejích, displejů pro monitorování letadlových systémů, zobrazovačů

okolního provozu, terénu a počasí. Toho lze dosáhnout buďto zaznamenáním vstupních a výstupních signálů jednotlivých ovládacích či zobrazovacích prvků, anebo přímo obrazovým záznamem pilotního prostoru. Pakliže je prostor snímán přímo obrazově, nesmí být na záznamu vidět hlava a ramena členů posádky z důvodu ochrany jejich soukromí. Systém musí být aktivní dříve, než je letoun schopen pohybu vlastní silou, a je-li to možné, tak i během kontroly pilotní kabiny, tedy před spuštěním motorů. Toto platí za předpokladu, že je k dispozici napájení palubní elektrické sítě. Systém se vypíná až na konci letu po vypnutí všech motorů.

2.4. Zapisovače komunikace datovým spojem

Používá-li letoun zprávy skrze datový spoj, nebo je-li letoun za letu jeho prostřednictvím řízen, pak musí být tyto zprávy zaznamenány, ať už jde o příchozí či odchozí zprávy. Je-li to možné, tak by součástí záznamů měl být i čas zobrazení posádkou, aby bylo případně možné přesně určit sled událostí.

K přenosu informací o komunikaci využívá zkoumaný provozovatel systém ACARS popsany níže.

2.5. Letadlový integrovaný datový systém

Letoun a jeho jednotlivé celky generují během svého provozu celou řadu datových toků. Ať už se jedná o data čistě informačního charakteru, či přímo řídicí povely, všechna tato data společně poskytují obraz o stavu letounu. Přesun těchto informací po letounu prostřednictvím sběrnici musí být nějak řízen. To znamená, že s daty lze pracovat, a tím pádem je i lze využít vícero způsoby než jen k primárnímu účelu.

Právě práci s těmito datovými toky zajišťuje systém zkratkovitě označován jako AIDS z anglického Aircraft Integrated Data System. AIDS je nástroj pro zpracování dat z letadlových systémů. Systém přitom produkuje jak holá data (raw data), tak data již nějakým způsobem zpracovaná. Na rozdíl od letových zapisovačů, jejichž data jsou použita až v případě vyšetřování, data z AIDS mají spíše preventivní charakter. Jejich pomocí lze sledovat stav motorů, APU, podvozků, přetlakování kabiny, výkonů letounů nebo jiného konkrétního systému a sledovat jejich vývoj. Na základě těchto trendů může být potom

stanovena potřebná údržba či změna v provozu letounu. S těmito daty lze pracovat pomocí Data Management Unit neboli DMU, se kterým je AIDS spojený. DMU může generovat celou řadu zpráv. Typ zprávy je závislý na spouštěcích podmínkách. Například zprávy 02, které jsou v této práci zpracovávány, jsou pořízeny ve chvíli, kdy je letoun stabilní, většinou při letu v hladině. Tabulka zpráv je uvedena níže.

Číslo zprávy	Jméno zprávy
01	Engine Cruise Report
02	Aircraft Cruise Performance Report
04	Engine Take-Off Report
05	Engine On Request Report
06	Engine Gas Path Advisory Report
07	Engine Mechanical Advisory Report
09	Engine Divergence Report
10	Engine Start Report
11	Engine Run Up Report
13	APU Main Engine Start/APU idle Report
14	APU Shutdown Report
15	Hand Landing/Structural Load Report
19	Environmental Control System Report

Tabulka 2: Seznam zpráv generovaných DMU. [zdroj: 7]

Zprávy číslo 01, 02, 04, 10 a 13 jsou určeny ke sledování dlouhodobého vývoje parametrů letounu. Zprávy 05 a 11 jsou určeny ke sběru dat za účelem údržby motorů. Pakliže dojde k automatickému vygenerování některé ze zpráv 06, 07, 09, 14, 15 nebo 19, pak je vyžadována údržba nebo vyšetření situace.

Tyto zprávy lze rovnou na palubě vytisknout ve formátu zobrazeném na obrázku níže. Pakliže je zapotřebí mít data z AIDS dostupná rychleji, pak je zde možnost telemetrického přenosu.


```

A319 CRUISE PERFORMANCE REPORT <02>
PH CNT   CODE BLEED STATUS   APU
C1 06 45701 5000 43 0010 0 0100 43 X

TAT ALT   CAS MN   GW   CG   DMU/SW
CE N204 36978 251 777 6029 215 C51041
CN N201 36990 252 778 6029 215

ESN      EHRS   ERT   ECTC   AP   QA   QE
EC 577655 07223 01345 03005 73 13 07
EE 577669 07223 01351 03005 73

N1      N1C   N2     EGT   FF   PS13
N1 0843 0843 0932 6294 1146 XXXXX
N2 0843 0843 0933 6213 1155 XXXXX

P25     T25   P3     T3     T5     USV   VBV
S1 XXXXX 0674 1150 4313 XXXX 026 N00
S2 XXXXX 0693 1164 4333 XXXX 028 N00

HPT LPT GLE PD TN   PT2   OIQH
T1 100 100 028 38 081 04703 N064
T2 099 100 020 38 077 04671 N017

UN VL PHA PHT VC VH EVM
V1 04 06 087 176 01 00 00000
V2 01 08 033 124 02 00 00000

STABLE DESCENT

UN VL PHA PHT N1
V3 XX XX XXX XXX XXXX
V4 XX XX XXX XXX XXXX

STABLE CLIMB

V5 12 08 167 214 0917
V6 06 11 009 101 0917

OIP OIT ECW1 SSEL
V7 041 087 00061 2222222222111
V8 042 087 00081 2222222222111

WFQ   ELEV AOA   SLP   CFPG   CIVV
X1 05326 N001 0024 0003 N0000 0012
X2 05343 N002 0025 0003 N0000 0013

RUDD RUdT AILL AILR STAB ROLL YAW
X3 0003 0012 N005 N007 N015 0000 0000

RSP2 RSP3 RSP4 RSP5 FLAP SLAT
X4 N000 N000 N000 0000 0000 0000
X5 0000 0000 N000 N000 0000 0000

THDG LONP LATP WS   WD   FT   FD
X6 0395 W0089 N241 074 282 0091 0353
X7 0395 W0089 N242 072 282 0085 XXXX

```

Obrázek 5: Zpráva 02 vytištěná palubní tiskárnou. [vlastní zdroj]

2.6. Systémy pro telemetrický přenos dat letadlo – zem

Telemetrický přenos zpráv probíhá přes systém ACARS, což je opět akronymem anglického termínu Airborne Communication and Reporting System. Tento systém, skládající se z komunikačního počítače a anténního systému, komunikuje s pozemní či satelitní komunikační sítí prostřednictvím krátkých digitálních zpráv maximálně 220 znaků

dlouhých. Samozřejmě, je-li potřeba odeslat delší zprávu, je nutno její rozdělení do vícero celků. Přenos jedné zprávy z letounu na zem může trvat až 15 sekund. Opačným směrem to může být i o 5 sekund déle. Délka zpráv je omezena z důvodu potřeby nezahlcování přenosového pásma, které bývá společné pro celou geografickou oblast. Primární kanál pro systém ACARS v Evropě leží na frekvenci 131.725 MHz, ale jsou zde pro případ potřeby i další dva kanály.

Z důvodů popsaných v předchozím odstavci a faktu, že je přenos zpoplatněn, není formát přenesených dat stejný jako při tisku v kabině. Např. Zpráva A02, která je společností Airbus definována jako výstupní hlášení zařízení DMU obsahující informace o výkonu letounu za letu, vypadá zasláná telemetricky takto:

```
- A02/A32102,1,1/CCAI-
002,APR11,153333,EFOU,ECHK,0368/C106,34201,5000,54,0010,0,0100,54,X/C
EN7
3,31019,290,782,7080,242,C73001/CNN171,31053,290,783,7080,242/ECSN000
1,0
208,00256,00165,73,33,22/EESN0002,00208,00260,00165,73/N10844,0845,09
285
947,1428,07947/N20844,0845,0929,5888,1443,07827/S115521,0712,1537,432
1,9
80,020,006/S215528,0713,1531,4308,4019,018,002/T1099,096,026,46,045,0
6271,0336/T2099,096,023,46,036,06335,0305/V105,00,287,168,03,00,00000
/V0
2,02,135,105,01,00,00000/V3XX,XX,XXX,XXX,XXXX/V4XX,XX,XXX,XXX,XXXX/V5
110
1,283,046,0916/V612,02,182,268,0916/V7044,083,00081,2222222222111/V8
04,
082,00061,2222222222111/X102541,N002,0017,0000,00000,0000/X202527,00
000
014,0000,00000,N000/X3N000,0004,N006,N007,N006,N002,N000/X40000,0000,
000
,0000,0000,0000/X50000,0000,0000,0000,0000,0000/X61891,E0256,N625,056
,28
,N000,0807/X71893,E0255,N624,055,279,0001,0806,/
```

Každý řádek zprávy je označen lomítkem a za ním kódem (například /CC) a jednotlivá data jsou oddělena čárkou (.).

Signál samozřejmě neputuje mezi letounem a jeho provozovatelem přímo. Veškerá komunikace probíhá skrze poskytovatele, který následně rozesílá konkrétní zprávy dopravcům či řízení letového provozu. Zprávy se mohou ještě dále dělit, v rámci provozovatele samotného, mezi jednotlivé úseky jako jsou: plánování letu, meteorologické

oddělení, operátory, technický úsek atd. V rámci této diplomové práce jsou zprávy získané přes ACARS hlavním zdrojem dat. Je to hlavně díky tomu, že, na rozdíl od předem popsaných systémů, jsou zprávy ACARS mnohem snadněji získatelné a šířitelné.

Alternativou je systém AIRCOM, což je zkráceně digital air/ground communications services. Tato služba poskytovaná SITA (Société Internationale de Telecommunications Aeronautiques) poskytuje stejné funkce jako severoamerická ACARS. V současné době se používá na území Evropy a Austrálie, ale je na vlastníkově, aby se rozhodnul, jaký systém do svého letounu pořídí. Dle dostupných zdrojů funguje systém ACARS v Severní Americe, Evropě a Japonsku. Systém AIRCOM funguje celosvětově.

3. Systém údržby dopravních letadel

Pravidelná údržba je klíčová při snaze udržet letoun ve stavu způsobilém k letu. Všichni komerční provozovatelé mají povinnost podrobovat své stroje programu údržby schváleným jejich dozorujícími úřady na základě aktuálních leteckých předpisů. (např. pro provozovatele v USA je to FAA, pro provozovatele v rámci EU je to EASA). Tyto programy sestávají z menších, či větších prohlídek. Druh prohlídky je dán předpokládaným opotřebením stroje. To je přímo úměrné využití letounu. Využití je stanoveno na základě počtu letových hodin, cyklů (vzlet a přistání) či doby provozu. Platí, že čím je hodnota parametrů vyšší, tím důkladnější prohlídka je zapotřebí.

3.1. Studované letouny

Praktická část této diplomové práce je realizována na základě dat z reálného provozu. Tyto údaje pocházejí z provozu dvou letounů za roky 2016 a 2017. Oba stroje jsou od výrobce Airbus a oba jsou stejného typu a spadají do A320 family.

Letouny řady A320 jsou úzkotrupé letouny pro kratší až střední vzdálenosti. Stroje mají přes 33 metrů na délku a rozpětí skoro 36 metrů. Dovnitř se dle zvolené vnitřní konfigurace vměstná až 160 pasažérů a skoro 28 metrů krychlových nákladu. Takto naložený má letoun standardní dolet téměř 7 000 kilometrů a maximální dostup přes 12 000 metrů. Ve verzi corporate jets, to může být přes 11 000 kilometrů. Takto navýšený dosah je možný díky extra nádržím umístěným v oblasti nákladového prostoru.

Oba letouny jsou osazeny proudovými motory CFM 56-5B7 francouzsko-americké výroby, přičemž každý motor dokáže vyprodukovat tah 120 kN.



Obrázek 6: Letoun A320 v barvách ČSA. [zdroj: 12]

3.2. Systém prohlídek

Stupně prohlídek jsou označeny kódově pomocí písmen latinské abecedy a čísla. Platí, že čím je písmeno a číslo vyšší, tím je prohlídka důkladnější. Ruku v ruce s tím jde i skutečnost, že náročnější prohlídky mají mnohem vyšší nároky na objem potřebné lidské práce a potřebný čas odstavení letadla.

Například v případě studovaného provozovatele se provádí prohlídka motorů C každých 3000 hodin, anebo po 1600 cyklech, podle toho, co nastane dříve.

3.3. Organizace odpovědné za letovou způsobilost (CAMO)

Pod zkratkou CAMO se skrývá anglický název Continuing Airworthiness Management Organisations. Jedná se o společnosti, jež mají za úkol dohled nad platností letové způsobilosti letadel. To znamená, že stroje jsou vždy ve stavu, ve kterém jsou technicky způsobilé k letu. Společnost je najímána buďto přímo vlastníkem letadla, anebo jeho provozovatelem. Hlavní činností CAMO je organizace a správa všeho, co náleží technickému stavu stroje, obzvláště dokumentace. Společnost vykonává samotnou údržbu buďto skrze údržbovou firmu, anebo přímo sama, má-li k tomu povolení od dozorujícího úřadu. V případě této práce je CAMO použito pro provozovatele v rámci EU.

Mezi základní úkoly CAMO patří následující činnosti:

- navržení údržbového programu a jeho prezentace pro účely schválení,
- schvalování oprav a úprav,
- dohled nad prováděním údržby dle programu,
- zajištění toho, že všechny nedostatky objevené při údržbě jsou nahlášeny a následně napraveny,
- kontrola a aktualizace dokumentace technického stavu a letové způsobilosti.

Pro provozovatele letecké dopravy, najímatele služby, tím odpadají starosti s rozsáhlým souborem dokumentů, a zároveň si může být jist, že vždy používá technicky způsobilý letoun.

CAMO nemusí být nutně jen externí firma, ale může ji provozovat i provozovatel letounu sám. Základní požadavky na provozování CAMO jsou kancelářské prostory a prostory pro uložení dokumentace. Společnost samotná musí mít odpovědného vedoucího a vedoucího kvality. K tomu je zapotřebí kvalifikovaný personál pro kontrolu letové způsobilosti a, má-li to CAMO povolené, tak i kvalifikovaný personál provádějící prohlídky samotné.

V této práci studovaný provozovatel užívá rovněž externích služeb pro údržbu.

3.4. Faktory ovlivňující spotřebu paliva

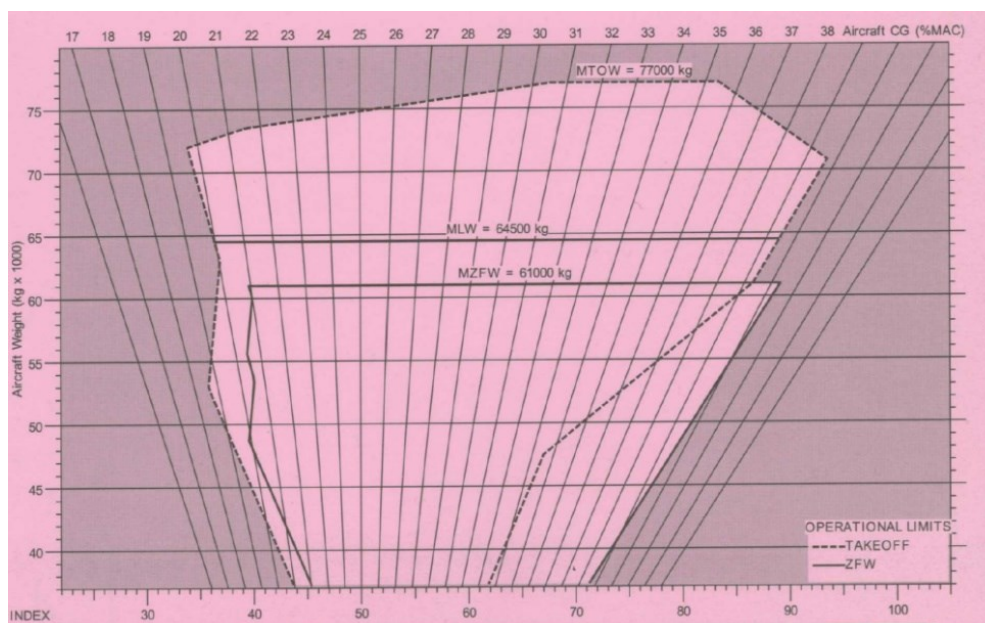
Dokonale homogenní prostředí je něco, co v reálném světě prakticky nelze najít. Proto nelze předpovědět průběh procesů se 100 % přesností. V dopravě, a obzvláště té letecké, je tomu taky tak. To, že vykonáváme opakovaně stejný let mezi dvěma místy na zemi, která jsou vůči sobě stálé ve stejné vzdálenosti, neznámá, že průběhy letu budou identické. Do průběhu letu, a tedy i konečné spotřeby paliva, zasahuje mnoho faktorů. Ty mohou mít původ jak v letounu samotném, tak v jeho okolí.

Vnitřní faktory přímo vyplývají z letounu a jeho posádky. Patří sem hmotnost letounu, rozložení této hmotnosti, technický stav letounu, motorů obzvláště, nebo i styl pilotáže. Faktory působící zvenčí jsou naopak zapříčiněné prostředím, ve kterém se letoun pohybuje. Nejedná se přitom jen o fyzickou podobu okolního světa, jako je povrch země, složení atmosféry a počasí. Zasahují zde i omezení vytvořená uměle člověkem. Příkladem může být systém letových hladin, politické rozdělení země či bezpečnostní předpisy. Ačkoliv tedy na let nepůsobí fyzicky, je nezbytné s nimi, v zájmu zachování bezpečnosti a efektivity, vždy počítat. K tomu je nutno započítat skutečnosti, že vše souvisí se vším. Změna jedné podmínky k lepšímu může zhoršit ostatní, a tím i celý výsledek. V následujících odstavcích jsou popsány vlivy faktorů na let a jeho spotřebu.

Prvním vnitřním faktorem je hmotnost letounu. Vyšší hmotnost v první řadě znamená vyšší potřebný výkon pro let, což přímo navyšuje spotřebu paliva, a to i v případě letu s nadměrnou zásobou paliva samotného. Druhotný efekt je ten, že velmi naložený letoun nemusí být schopen dosáhnout optimální letové hladiny, takže musí letět níže v hustším prostředí, což má opět za následek zvýšenou spotřebu. Nelze taky počítat jen s hmotností nákladu, posádky či paliva samotného. Roli může hrát i čistota stroje. Vnitřní nánosy špíny v kombinaci se špínou na povrchu, která zhoršuje obtékání letounu, mohou mít za následek i 1% rozdíl ve spotřebě. Na druhou stranu, pokud si provozovatel není jistý přesnou spotřebou, je lepší mít hmotnost navíc v podobně extra paliva. Ovšem v extrémním případě může být vystaven situaci, kdy hmotnost navíc nemusí umožnit bezpečné přistání.

Vyvážení letounu je faktor, který na hmotnost přímo navazuje. Rozložení hmotnosti v letounu určuje polohu těžiště, a tím i to, jak se letadlo za letu chová. Poloha se udává vztažená k podélné ose stroje a vždy by měla být před neutrálním bodem, tedy místem, kde působí vztahové síly. Každý letoun má stanovený povolený rozsah centráže, což zabraňuje rozmístění hmotnosti způsobem, který by ohrozil let. Příklad takové obálky je zobrazen níže.

V rámci povoleného rozsahu můžeme těžiště umístit více dopředu či dozadu. Při přední centráži je letoun stabilnější, ovšem za cenu snížené říditelnosti. Kompenzování tohoto negativního efektu vyžaduje více paliva. U zadní centráže je tomu naopak, neboť letoun je na zásahy v řízení citlivější, ovšem za cenu snížené stability, tím pádem vyžaduje větší nárok na pilotovo soustředění.



Obrázek 7: Příklad obálky povolených poloh těžiště pro letoun Airbus A320. [vlastní zdroj]

Lopátkové motory patří mezi nejsložitější zařízení pro vyvození pohybové síly. Velký počet součástek a vysoké nároky na přesnost výroby a sestavení mají za následek, že žádné dva motory nejsou stejné. Proto se pro každý motor po jeho sestavení a otestování stanoví nominální spotřeba paliva a reálná spotřeba by se měla vždy brát ve vztahu k ní. Rozdílná spotřeba motorů na jednom letadle tedy automaticky není důvod ke znepokojení, ale je třeba s ní vždy počítat. Například z důvodu rozdílné spotřeby paliva za letu.

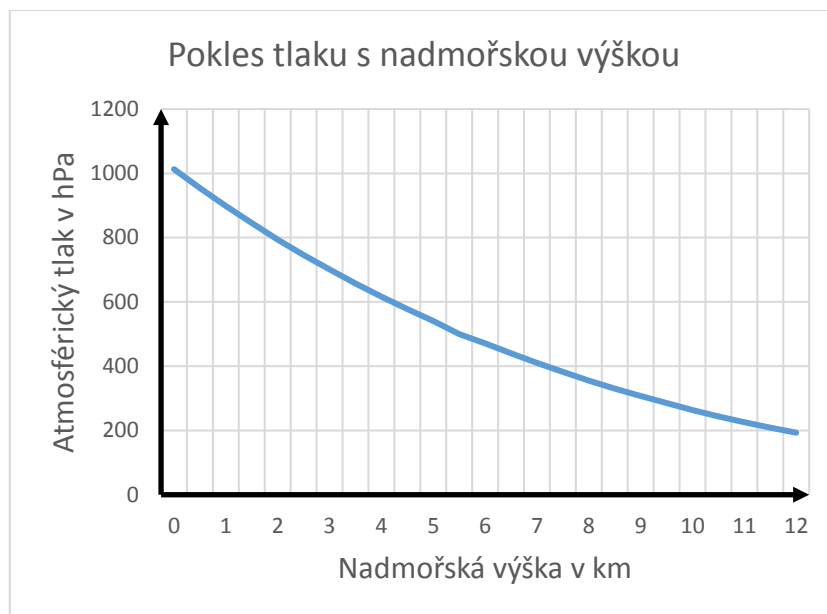
Pro efektivní let z hlediska ekonomiky platí, že čím méně zásahů do řízení je třeba, tím lépe. Z toho důvodu se využívá autopilot kdykoliv to lze, ale i tento systém stále jedná na základě pokynů člověka. V souvislosti s tímto faktem a spotřebou je nutné zmínit pojem Cost Index. Jedná se o hodnotu vyjadřující poměr mezi cenou a časem letu. Nízký Cost Index tedy znamená pomalý let při menší spotřebě a následných nízkých nákladech. Na druhou

stranu je-li rychlost důležitější než cena, tak zadáme vyšší hodnotu. Hodnota indexu se zadává do palubního počítače prostřednictvím FMS a počítač vypočte ideální rychlosti a výšky letu. Podle zkušeností pilotů provozovatele je ideální hodnota kolem 30, kdy už je letová doba přiměřená a let je přitom stále ekonomický.

Z externích faktorů při plánování letu je mezi prvními zvažovanými výška, ve které se let uskuteční. Výšku lze vyjádřit vícero způsoby v závislosti na tom, jakou vztažnou rovinu zvolíme. Výšku můžeme vyjádřit jako:

- výšku nad letištěm, pokud do výškoměru zadáme vztažný tlak QFE (aktuální tlak na letišti) a výškoměr bude na zemi ukazovat nulu,
- nadmořskou výšku, pokud do výškoměru zadáme vztažný tlak QNH ($QFE + \text{rozdíl tlaku vzduchu mezi aktuální polohou na zemském povrchu a střední hladinou moře}$), čímž bude výškoměr na zemi ukazovat nadmořskou výšku letiště,
- letovou hladinu, pokud do výškoměru zadáme vztažný tlak 1013 hPa.

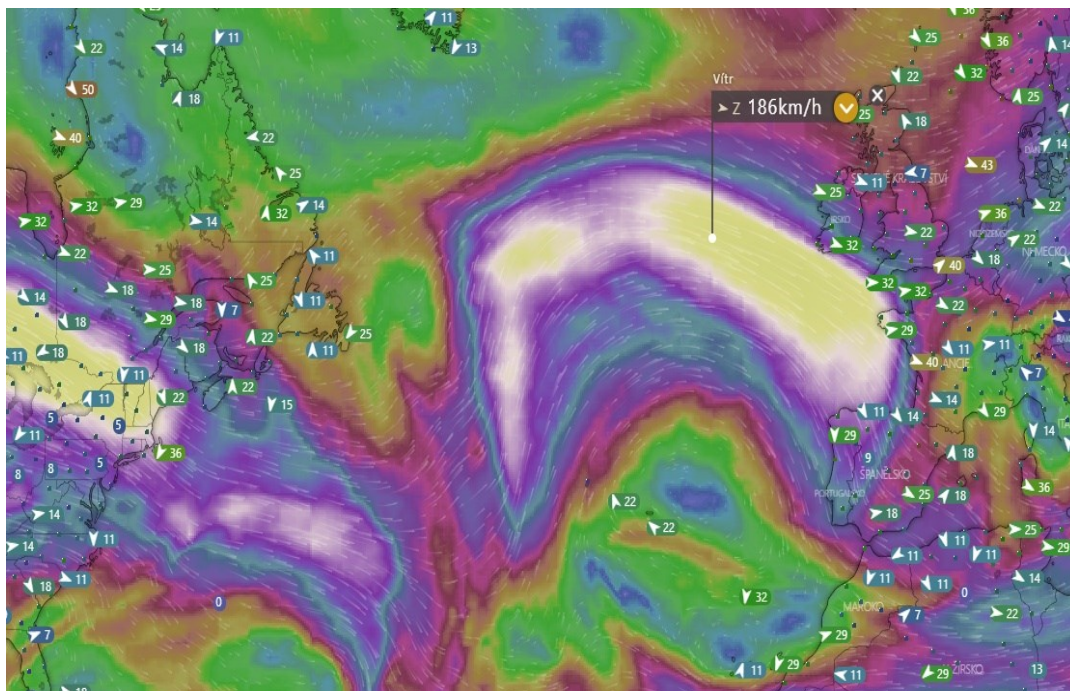
Systém letových hladin je nástroj, jehož pomocí lze vyjádřit výšku bez potřeby vztažné roviny na zemském povrchu. Účelem je zachovat vertikální rozestupy mezi letadly po celou dobu letu nad převodní hladinou bez ohledu na lokální změny aerostatického tlaku. Není tedy třeba znát polohu povrchu. Stačí parametr okolního prostředí, konkrétně atmosférický statický tlak. Letová hladina tedy označuje oblast ve vzdušném prostoru se stejnou hodnotou statického tlaku. Zvolená hladina má jak provozní, tak ekonomický dopad, neboť přímo ovlivňuje spotřebu a čas letu. Z hlediska spotřeby pohonných hmot představují vyšší letové hladiny nižší spotřebu, neboť statický tlak atmosféry klesne každých 5 500 metrů zhruba na polovinu. Změna hustoty vzduchu s výškou je vyobrazena na grafu níže. Nižší hustota prostředí vzduchu znamená, že letadlo za letu čelí nižšímu aerodynamickému odporu. Tím pádem není ke stejné rychlosti potřeba tak velký výkon motorů, jako je tomu blíže zemi. Na druhou stranu k dosažení vyšších letových hladin je třeba delšího stoupání, což se projevuje navýšením celkového času letu a vyšší spotřebou při stoupavém režimu letu. Je tedy otázkou, zdali náklady za ušetřené palivo při letu ve vyšší hladině vyváží delší čas provozu a vyšší spotřebu, kterou stoupání vyžaduje.



Obrázek 8: Změna atmosférického tlaku vzduchu s nadmořskou výškou. [zdroj: 11]

Dalším faktorem, pocházejícím z okolní atmosféry, je směr a síla větru. Ten často funguje jako dvousečná zbraň. Na jednu stranu při vzletu a přistání je čelní vítr žádoucí, neboť umožňuje vzlet z kratší dráhy, protože z pohledu udržení se ve vzduchu je pro letoun důležitější pohyb právě vůči médium (vzduchu) než zemi. Na druhou stranu při letu v hladině je tomu naopak. Zde je účelem překonat vzdálenost mezi dvěma body na zemi, a tudíž nás více zajímá rychlost vůči povrchu. Při čelním větru klesá traťová rychlost letadla, která vznikne vektorovým složením vektoru pravé vzdušné rychlosti letounu a vektoru rychlosti větru, čímž se prodlouží potřebná doba letu a tím i spotřeba paliva.

Stejně je tomu i při bočním větru, kdy motory kompenzují snos větrem. Naopak vítr v zádech může celý let v důsledku zvýšení traťové rychlosti výrazně urychlit. Nejlepším příkladem jsou lety přes Atlantik, směrem z Ameriky do Evropy, kdy takzvané tryskové proudění, které proudí vždy na východ, zkracuje let i o několik hodin.



Obrázek 9: Tryskové proudění ve FL390 přesahující rychlost 180 km/h. [zdroj: 10]

Dále jsou omezení, která nevyplývají z fyzického stavu okolí, ale jsou uměle vytvořena člověkem. Do této kategorie spadá výše zmíněný systém letových hladin. Může nastat případ, kdy není ideální letová hladina dostupná pro použití, protože je například vyhrazena pro jiný provoz. Následují příletové a odletové tratě, které mají, zejména u kratších letů, významný vliv na spotřebu a čas. Ať už vlivem počasí, orografií terénu, městskou zástavbou nebo intenzitou okolního provozu, pilot nemůže vždy vzlétnout ve směru ke svému cíli. Pokud je odletová runway orientovaná na opačnou stranu, než je kurz samotného letu, následný manévr značně celou cestu prodlužuje. Stejně je tomu i při nevhodně přidělené příletové trati. Následně stav vzletové a přistávací dráhy může, například svou délkou, nosností a povrchem, vyžadovat rozdílné ovládání tahu motoru.

4. Možnosti využití letových dat pro zvyšování bezpečnosti a efektivity letecké dopravy

Praktická část této práce probíhá na základě souboru dat zaslaných leteckým provozovatelem. Ten v rámci svého vlastního dozoru kontroluje balíčky zpráv s daty jednou za měsíc. Měsíční dodávka dat vždy obsahuje kolekci zpráv za poslední 3 měsíce. Data samotná jsou přenášena z letadla na zem prostřednictvím systému ACARS. Systém generuje a odesílá vždy jednu zprávu za let, takže už samotné množství dat vypovídá o tom, jak moc je stroj vytížen. ACARS zasílá zprávy na poštovní server EXCHANGE. Ten je využíván nástrojem AIRMAN. Data jsou dále distribuována poskytovatelům služeb CAMO, které využívá data pro kontrolu jednotlivých systémů včetně motorů. Dále jsou data využívána pro vedení statistik a k přístupu k online službám, jako je výše zmíněný AIRMAN-WEB od společnosti Airbus.

Postup práce je zde rozdělen do více částí.

1. V první podkapitole jsou vyselektovány relevantní zprávy pomocí nástrojů MS Office a z nich je vytvořena databáze použitelná jako vstup pro oficiální Airbus software (PEP).
2. V navazující podkapitole je databáze vyhodnocena programem PEP a jeho výstup je podroben analýze. Je kladen důraz na vývoj hodnot v čase a na možnost překročení limitních hodnot parametrů.
3. V další kapitole je, pomocí Visual Basic, vytvořen excelovský soubor obsahující makra pro snadnější a rychlejší vyhodnocování dat.

4.1. Selekce dat a vytvoření databáze

Balíčky vždy obsahují všechny zprávy zaslané ACARS za danou dobu. Takže kromě požadovaných informací je přítomna i řada jiných, pro tuto práci nepotřebných zpráv. Všechny zprávy jsou ve formátu popsaném v kapitole o ACARS. Například:

- A01/A31901,1,1/CCOK-AAA,DEC18,105018,
LKPR,VIDP,0005/C106,79413,5000,34,0010,0,0100,34,X/CEN322,37005,254,784,6363,231
,C51041
- A02/A31902,1,1/CCOK-
AAA,DEC16,081434,EBBR,LKPR,0002/C106,79201,5000,32,0010,0,0100,32,X/CEN350,
40983,231,784,
- A13/A31913,1,1/CCOK-
AAA,DEC18,082139,XXXX,XXXX,0005/C111,79302,4000,32,0000,1,0000,32,1

Zprávy je třeba roztřídit, a to se děje na základě identifikačního znaku. Předmět každé zprávy je udán na jejím začátku pomocí značky A. V této práci se zpracovávají zprávy o výkonech letounu a motorů, tedy zprávy začínající kódem A02. Každá tato zpráva obsahuje přes 140 údajů vzájemně oddělených čárkou. K dispozici jsou zprávy od dvou letounů za dva roky. Dohromady tedy téměř 600 zpráv. To znamená, že máme k dispozici přes 80 000 údajů.

Díky úspornému formátování zpráv ACARS ale lze jen některé části zprávy analyzovat na první pohled. Pro většinu údajů to však neplatí. Snadno identifikovatelné údaje jsou například:

- A02 – typ zprávy
- A319 – typ letounu
- DEC16 – datum letu
- EBBR, LKPR – letiště vzletu a přistání

Další informace nelze bez hlubších znalostí interpretovat. Je tedy jasné, že se zprávy nekontrolují manuálně, ale pomocí počítačového programu. Ten musí mít pro správné fungování vytvořenou databázi obsahující všechny výše popsané zprávy. Databáze se

vytváří pomocí textových souborů, kam obsluha nakopíruje všechny zprávy, a následně soubor uloží na dané místo. Organizování dat musí být pečlivé, neboť kontrola probíhá měsíčně, ale vždy 3 měsíce nazpět. Nemělo by se tedy stát, že by některá data byla započítaná vícekrát či naopak vůbec. Druhá skutečnost, která práci s daty komplikuje, je patrná z uvedeného vzorku zprávy. Údaj DEC16 sice jednoznačně označí den a měsíc pořízení zprávy, ale rok už nikoliv. Důsledkem toho může dojít ke špatnému zařazení informací, jsou-li zprávy zadávány s velkým časovým odstupem.

U provozovatele práce s daty probíhá, jak je popsáno výše, s tím, že zmíněný textový soubor je vytvářen pomocí jednoduchého manuálního kopírování textu z jednoho souboru do druhého. Výsledkem je txt soubor, který se vloží do databáze. Tu program zpracuje a vyprodukuje číselnou hodnotu, kterou obsluha následně upraví v letovém počítači. Pro potřeby práce je ovšem nutné data kompilovat tak, aby se s nimi dalo více, a hlavně snáze pracovat.

Při vytváření databáze je množina zpráv zpracovávána pomocí nástrojů Microsoft Office. Konkrétně se jedná o MS Outlook a MS Excel.

V první fázi je třeba vyselektovat množinu relevantních zpráv, tedy zpráv začínající znakem A02. Vzhledem k množství zpráv v řádech stovek by bylo individuální otevírání zpráv, jejich čtení a případné kopírování, zbytečně pracné. Začneme tím, že vytvoříme v MS Outlook dvě složky: „Vše“ a „A02“. Do složky Vše přesuneme všechny zprávy z ACARS. Následně do okna vyhledávání zadáme „A02“, včetně uvozovek, čímž program vyselektuje zprávy mající v obsahu znak A02. Tyto zprávy přesuneme do složky A02 a obsah celé složky vyexportujeme.

To uděláme prostřednictvím záložky Soubor a položky Otevřít a exportovat. Uvnitř zvolíme možnost Import nebo export. Dále volíme možnosti: Export do souboru, Hodnoty oddělené čárkami, zvolíme složku A02, zadáme umístění a jméno exportovaného souboru a zvolíme Dokončit. Následně nový soubor otevřeme a ujistíme se, že je uložen jako List Microsoft Excel, a ne jako Soubor CSV či jiný. Tohle je důležité pro další práci s daty.

Od tohoto okamžiku se pracuje s informacemi v MS Excel. Tento exportovaný soubor obsahuje, jak lze vidět na obrázku níže, kromě samotného obsahu zpráv i informace o odesílání a podobné.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	Předmět: "Text", "Od: (jméno)", "Od: (adresa)", "Od: (typ)", "Komu: (jméno)", "Komu: (adresa)", "Komu: (typ)", "Kopie: (jméno)", "Kopie: (adresa)", "K												
2	DFD REPORT FROM .OK-AAA,"DFD												
3	FI C20003/AN OK-AAA												
4	DT QXS PRG7 181523 D01A												
5	- A02/A31902,1,1/CCOK-AAA,MAR18,143335,UTAA,LKPR,0003/C106,32001,5000,34,0010,0,0100,34,X/CEN383,38002,249,786,5433,251,C5												
6	,QXSSBXS", "QXSSBXS@sitagmail.com", "SMTP", "system AIRMAN", "/O=24ZDL/OU=EXCHANGE ADMINISTRATIVE GROUP (FYDIBOHF23SPDLT												

Obrázek 10: Původní formát exportovaných zpráv v MS Excel. [vlastní zdroj]

Pro potřeby databáze je třeba vybrat jen obsahy zpráv. Je tedy použita funkce Filtr. V prvním kroku jsou vybrány všechny buňky na listu přes Ctrl + A. Dále byla v záložce Data zvolena funkce Filtr. V nabídce byla zvolena položka Filtry textu a Obsahuje. Do otevřeného řádku bylo zadáno A02 a následně potvrzeno. Výsledkem je množina řádků obsahující jen samotné obsahy zpráv.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1																
2	-	A02/A31902,1,1/CCOK-AAB,MAR19,171051,KBGR,KMIA,0005/C106,89401,5000,40,0010,0,0100,40,X/CEN291,37980,249,786,6158,238,C51041/CNN286,37992,249,7														
3																
4	-	A02/A31902,1,1/CCOK-AAB,MAR19,074317,LKPR,KBGR,0005/C106,89201,5000,45,0010,0,0100,45,X/CEN319,34006,272,784,6979,269,C51041/CNN322,34017,272,7														
5																
6	-	A02/A31902,1,1/CCOK-AAB,MAR30,150602,LKPR,KBGR,0002/C106,90501,5000,43,0010,0,0100,43,X/CEN307,35985,260,784,7130,313,C51041/CNN305,35997,260,7														
7																
8	-	A02/A31902,1,1/CCOK-AAB,MAR17,120131,LKPR,EBBR,0002/C106,88801,5000,43,0010,0,0100,43,X/CEN344,35992,257,777,5509,231,C51041/CNN343,36004,257,7														
9																
10	-	A02/A31902,1,1/CCOK-AAB,MAR16,175158,OAKB,EBBR,0521/C106,88301,5000,32,0010,0,0100,32,X/CEN294,39997,241,798,5584,243,C51041/CNN289,40007,241,7														
11																
12	-	A02/A31902,1,1/CCOK-AAB,MAR14,105511,EBBR,OAKB,0521/C106,88101,5000,43,0010,0,0100,43,X/CEN360,36980,252,779,6055,246,C51041/CNN358,36990,252,7														
13																
14	-	A02/A31902,1,1/CCOK-AAB,MAR12,140937,GABS,LKPR,0516/C106,87801,5000,43,0010,0,0100,43,X/CEN137,34988,265,783,6362,236,C51041/CNN137,34999,266,7														
15																
16	-	A02/A31902,1,1/CCOK-AAB,MAR12,090943,LKPR,GABS,0516/C106,87601,5000,34,0010,0,0100,34,X/CEN157,36003,259,781,6317,227,C51041/CNN154,36014,259,7														
17																

Obrázek 11: Samotné obsahy zpráv po filtraci exportovaného souboru. [vlastní zdroj]

V této fázi můžeme všechny řádky jednoduše zkopírovat do textového souboru a získáme stejný výstup jako provozovatel. V tomto případě spočívá výhoda v mnohem kratším čase vytvoření txt souboru a zároveň je zde možnost s daty dále pracovat v MS Excel. Nyní lze nechat vytvořenou databázi interpretovat pomocí dalšího programu.

4.2. Analýza výstupu dat ze specializovaného software výrobce letadel

Vezmeme tedy vytvořený txt soubor a vložíme ho do firmou Airbus vytvořeného SW Performance Engineering Programs, zkráceně PEP. Program informace interpretuje v kombinaci s integrovanou databází letounů. Na základě vložených dat dopočítá další parametry a vytvoří zprávu. Tato zpráva má jednoduchý textový formát bez grafiky či možností další interakce a zůstává uvnitř programu. Chce-li s ní provozovatel dále pracovat, například zálohovat, potom musí obsah zprávy překopírovat, většinou do txt souboru.

Je zajímavé, že ve výstupu z PEP se mohou občas objevit hodnoty se symbolem hvězdičky (*). Program tyto hodnoty nezahrnuje ve svých výpočtech, neboť se nacházejí mimo 95 % intervalu spolehlivosti. Dle slov provozovatele je to způsobeno změřením dané hodnoty během situace, kdy byl letoun mimořádně namáhán. Na druhou stranu, dle důvodů uvedených v kapitole 2.5, by systémy letadla měly generovat zprávy pouze v případech, kdy je stroj již nějakou dobu v ustáleném letu.

Kromě záhlaví, které obsahuje obecné informace o programu, použitých databázích a letounu, obsahuje výstup 3 množiny dat.

1. Informace identifikující let a jeho parametry
2. Data motorů
3. Data o odchylkách jednotlivých parametrů

Příklad výstupu je uveden níže. V zájmu zachování formátu a čitelnosti jsou data umístěna do tabulky, oproti původnímu výstupu, kde je jen čistý text.

DIRECT ANALYSIS OUTPUT (INPUT BY ADL)														
CASE IDENTIFICATION							FLIGHT DATA							
NO.	TAIL-NO	DATE	FL-NO	CASE	ESN1	ESN2	ALT	MACH	TAT	WEIGHT	CG	FPAC	VV	GRAV
		D/M/Y		(UTC)			FEET		C	KG	%	G	FT/MIN	M/S*S
1	OK-AAA	1.2.2016	5	16:18	697219	697237	39000.	0.7795	-27.45	55810.	26.8	0.00015	11.0	9.70425
2	OK-AAA	2.2.2016	5	20:34	697219	697237	37984.	0.7870	-39.30	57180.	26.2	0.00130	11.0	9.78022
3	OK-AAA	3.2.2016	513	14:59	697219	697237	36988.	0.7820	-31.80	61200.	20.8	0.00025	2.0	9.74267

Tabulka 3: 1. část výstupu programu PEP obsahující identifikaci záznamů a letová data. [zdroj: 7]

ENGINE DATA															
NO.	N11	N12	FFA1	FFA2	EGT1	EGT2	WBLL	WBLR	FLHV	N1TH	FFTH	FFC1	FFC2	EGTC1	EGT C2
	%	%	KG/H	KG/H	C	C	KG/S	KG/S	BTU/LB	%	KG/H	KG/H	KG/H	C	C
1	83.50	83.50	1055.0	1056.0	604.7	602.3	0.340	0.340	18590.	83.53	1009.3	1007.9	1007.9	573.7	573.7
2	81.70	81.70	1088.0	1085.0	566.3	563.5	0.340	0.340	18590.	81.72	1046.1	1044.7	1044.7	540.0	540.0
3	83.00	83.00	1164.0	1160.0	592.8	590.7	0.430	0.430	18590.	82.80	1102.5	1114.5	1114.5	565.5	565.5

Tabulka 4: 2. část výstupu programu PEP obsahující data motorů. [zdroj: 7]

APM DEVIATION DATA													
NO.	DN11	DN12	DFFA1	DFFA2	DFFB1	DFFB2	DEGT1	DEGT2	DN1M	DFFAM	DFFB	DEGTM	DSR
	%	%	%	%	%	%	deg	deg	%	%	%	deg	%
1	-0.026	-0.026	-0.141	-0.141	4.676	4.775	30.969	28.568	-0.026	-0.141	4.725	29.769	4.377
2	-0.024	-0.024	-0.129	-0.129	4.143	3.856	26.344	23.544	-0.024	-0.129	4.000	24.944	3.722
3	0.200	0.200	1.095	1.095	4.439	4.081	27.323	25.223	0.200	1.095	4.260	26.273	5.125
MV	0.000	0.001	-0.043	-0.028	4.333	4.260	28.862	26.931	0.002	-0.035	4.293	27.921	<u>-4.078</u>

Tabulka 5: 3. část výstupu programu PEP obsahující data odchylek. [zdroj: 7]

Význam jednotlivých zkratk je následující:

CASE IDENTIFICATION					
NO	Číslo záznamu	TAIL-NO	Číslo letounu	FL-NO	Číslo letu
CASE	Čas záznamu	ESN 1	Sériové číslo 1. motoru	ESN 1	Sériové číslo 2. motoru
FLIGHT DATA					
ALT	Výška	MACH	Machovo číslo	CG	Poloha centráže
FPAC	Přetížení ve směru letu	VV	Vertikální rychlost	GRAV	Gravitační zrychlení
ENGINE DATA					
N11	Otáčky 1. motoru		N12	Otáčky 2. motoru	
FFA1	Průtok paliva 1. motoru		FFA2	Průtok paliva 2. motoru	
EGT1	Teplota výtokových plynů 1. motoru		EGT2	Teplota výtokových plynů 2. motoru	
WBLL	Množství vzduchu odebraného z kompresoru pro spalování levým motorem		WBLR	Množství vzduchu odebraného z kompresoru pro spalování pravým motorem	
FLHV	Spalné teplo paliva		N1TH	Teoretické otáčky motorů	
FFTH	Teoretický průtok paliva				
FFC1	Vypočtený tok paliva pro 1. motor		FFC2	Vypočtený tok paliva pro 2. motor	
EGTC1	Vypočtená teplota výtokových plynů 1. motoru		EGTC2	Vypočtená teplota výtokových plynů 2. motoru	
APM DEVIATION DATA					
DN11	Odchylka otáček 1. motoru		DN12	Odchylka otáček 2. motoru	
DFFA1	Odchylka v průtoku paliva 1. motoru vinou stavu draku		DFFA2	Odchylka v průtoku paliva 2. motoru vinou stavu draku	
DFFB1	Odchylka v průtoku paliva 1. motoru vinou stavu motoru		DFFB2	Odchylka v průtoku paliva 2. motoru vinou stavu motoru	
DEGT1	Odchylka teploty výtokových plynů 1. motoru		DEGT2	Odchylka teploty výtokových plynů 2. motoru	
DN1M	Průměrná odchylka otáček motorů				
DFFAM	Průměrná odchylka v průtoku paliva motorů vinou stavu draku		DFFBM	Průměrná odchylka v průtoku paliva motorů vinou stavu motorů	
DEGTM	Průměrná odchylka teploty výtokových plynů motorů		DSR	Degradace specifického doletu	

Tabulka 6: Zkratky obsažené ve výstupu programu PEP a jejich význam. [zdroj: 7]

Provozovatele v konečném důsledku nejvíce zajímá údaj na posledním řádku úplně vpravo. Hodnotu DSR, Degradation Specific Range, lze chápat jako procentuální úbytek maximálního doletu stroje oproti nominálnímu doletu. Změna této hodnoty má dvojí původ. Tím prvním je stav draku letounu, druhým je stav motorů. Nemusí tedy nutně znamenat, že při mírně zvýšeném DSR nejsou motory v pořádku. Dle slov provozovatele hraje roli například i čistota letounu. Rozdíl mezi vyčištěným (např. vysátým) a umytým letounem oproti neuklizenému a špinavému letounu může být i 1 % specifického doletu.

Stejně tak může dojít ke změně motorové složky DSR změnou používaného paliva. Ve výpočtech hraje roli parametr FLHV neboli Fuel Lower Heating Value. Jedná se o údaj vyjadřující tepelnou kapacitu paliva. Tato hodnota má přímý vliv na tok paliva a tím i na naměřené a vypočtené hodnoty. Ovšem vzhledem k tomu, že je napříč všemi studovanými záznamy FLHV vždy stejný, není zde její vliv podroben zkoumání.

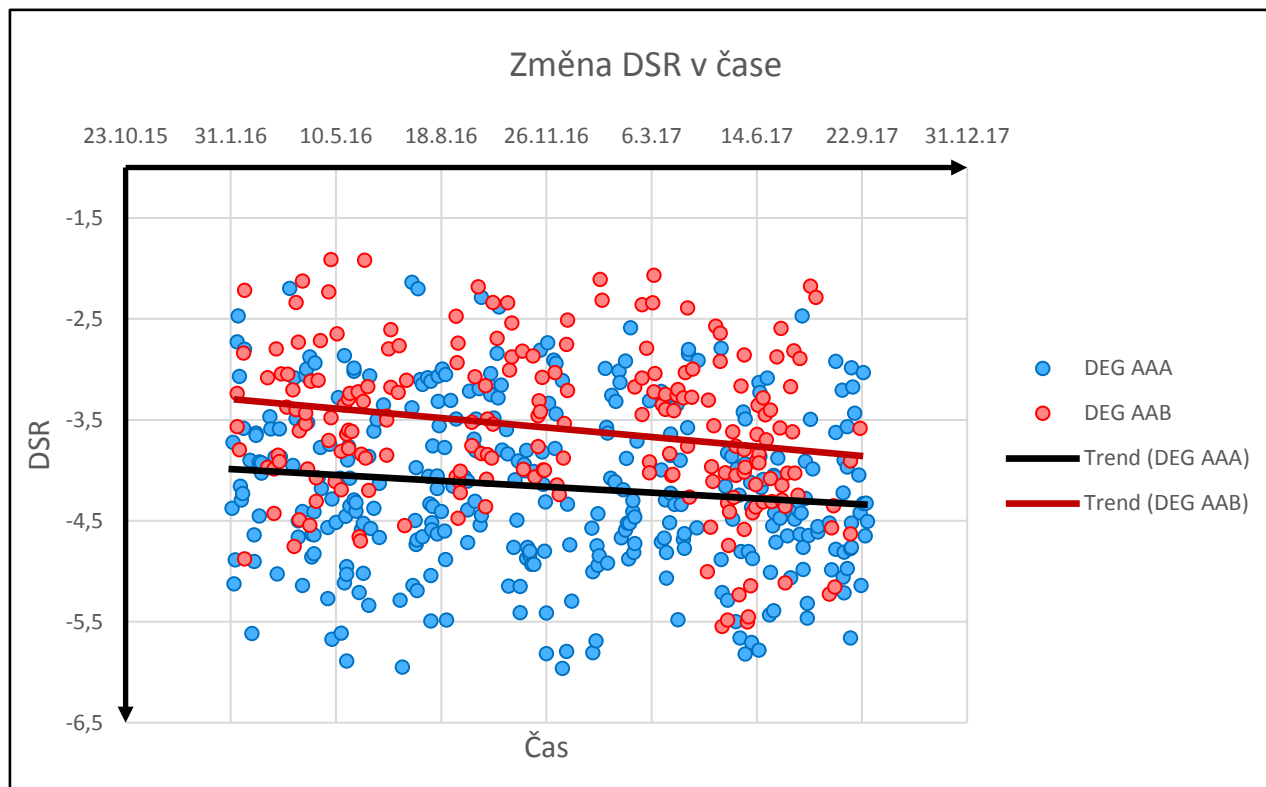
Na základě tabulky přiložené na začátku podkapitoly by měl mít letoun o **4.078 %** menší dolet, než když byl nový. Tento údaj je třeba zadat do palubního počítače, aby byl při výpočtech paliva a řízení autopilota výsledek co nejpřesnější.

Tento způsob určení DSR ovšem není dokonalý. Vzhledem k tomu, že konečná hodnota DSR se zakládá na hodnotách z předchozích letů, je jeho praktické užití zranitelné při scénáři s následujícími podmínkami:

- Například, když letoun po celé 3 měsíce operoval jen v ideálních podmínkách. Tyto podmínky nepředstavovaly nijak mimořádnou zátěž, a tudíž i DSR je na nízké hodnotě. Obsluha zadá nízkou hodnotu DSR do palubního počítače pro přesnější výpočet budoucích letů.
- Komplikace nastane v případě přeřazení letounu na jinou linku či do jiné oblasti, kde jsou podmínky výrazně náročnější.
- Může se jednat třeba o členitější profil tratí, teplejší a prašnější prostředí, anebo orografii terénu okolo letiště, která bude vyžadovat vyšší výkony stroje.

Najednou může být reálný dolet nižší i v jednotkách procent oproti vypočtené hodnotě, to může znamenat problém např. v případě plánování letu na hranici doletu letounu.

Je tedy třeba při vývoji hodnoty DSR nejen sledovat určitý časový výřez, ale celkový obraz. Na grafech níže jsou vyobrazeny změny DSR v průběhu let 2016 a 2017 u letounu AAA a AAB.



Obrázek 12: Změna degračního faktoru letounů v čase. [vlastní zdroj]

Na grafu výše lze vidět, že se křivky trendu sbíhají. To znamená, že degrační faktor doletu letounu AAB se zvyšuje rychleji než u letounu AAA. Při prodloužení spojnice trendů, na obrázku níže, lze dokonce odhadnout, že kolem začátku roku 2021 bude degrační faktor doletu letounu AAB na vyšší úrovni než u AAA. Chceme-li údaj znát přesně, stačí dosadit do rovnice grafu získaná data:

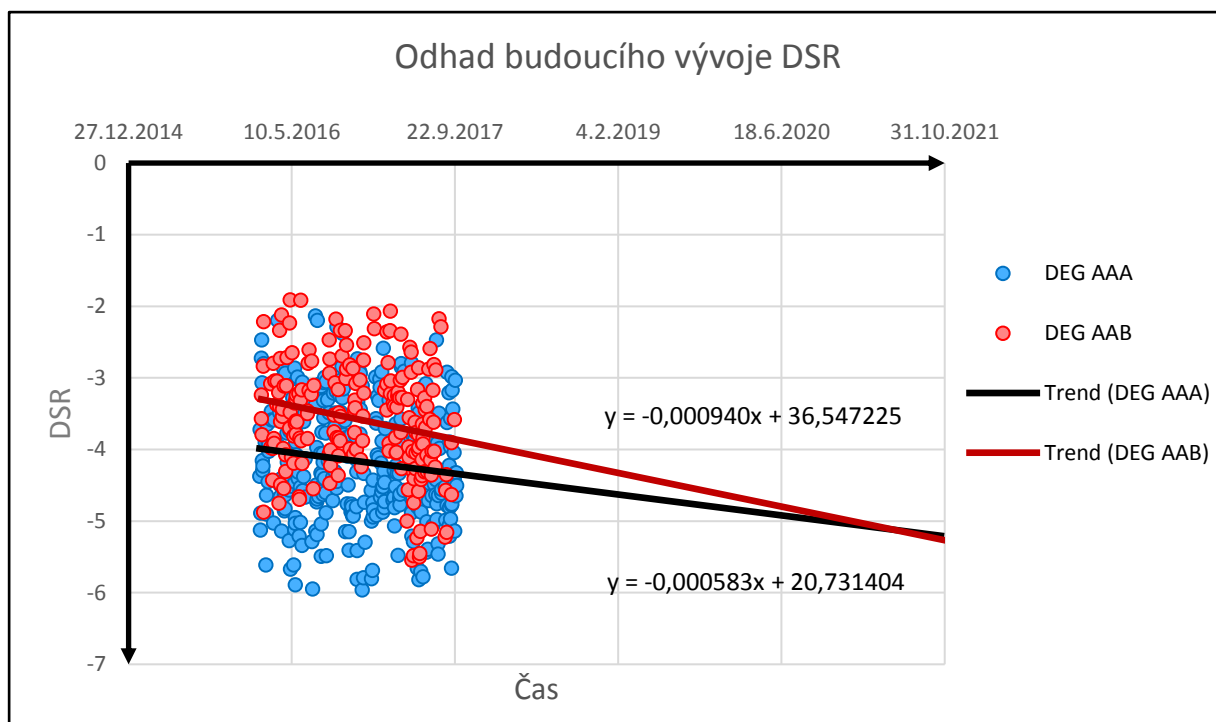
$$-0,000940x + 36,547225 = -0,000583x + 20,731404$$

$$-0,000940x + 0,000583x = -36,547225 + 20,731404$$

$$-0,000357x = -15,815821$$

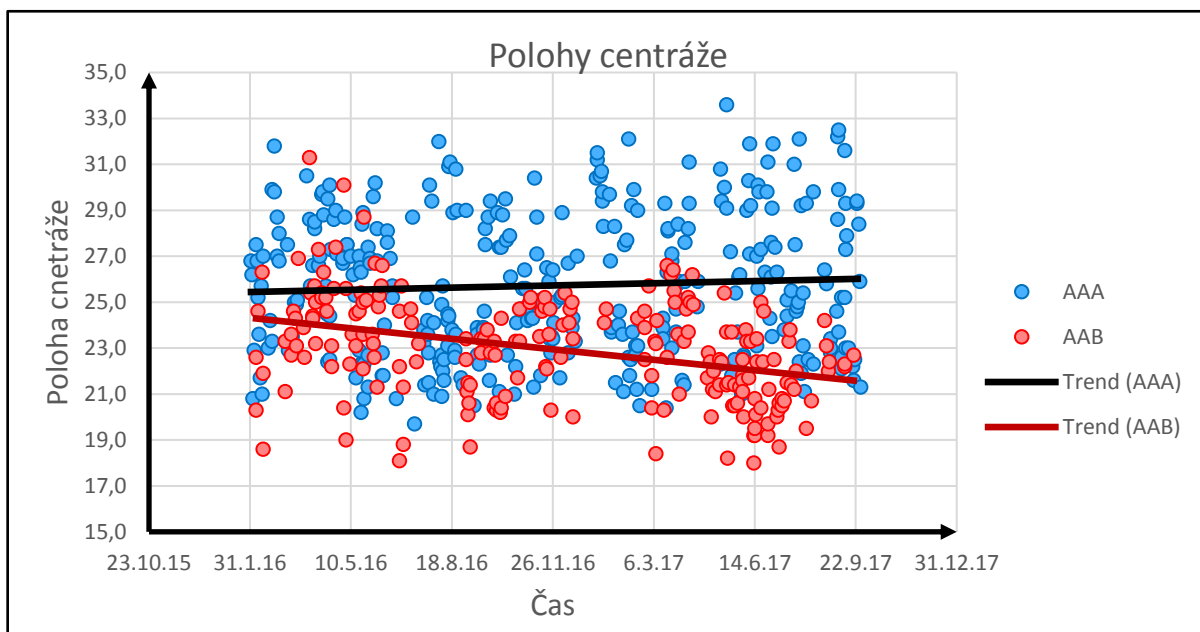
$$x = 44\,302$$

44 302 je hodnota, jakou MS Excel číselně vyjadřuje datum 16. 4. 2021.



Obrázek 13: Odhad vývoje degračního faktoru v čase. [vlastní zdroj]

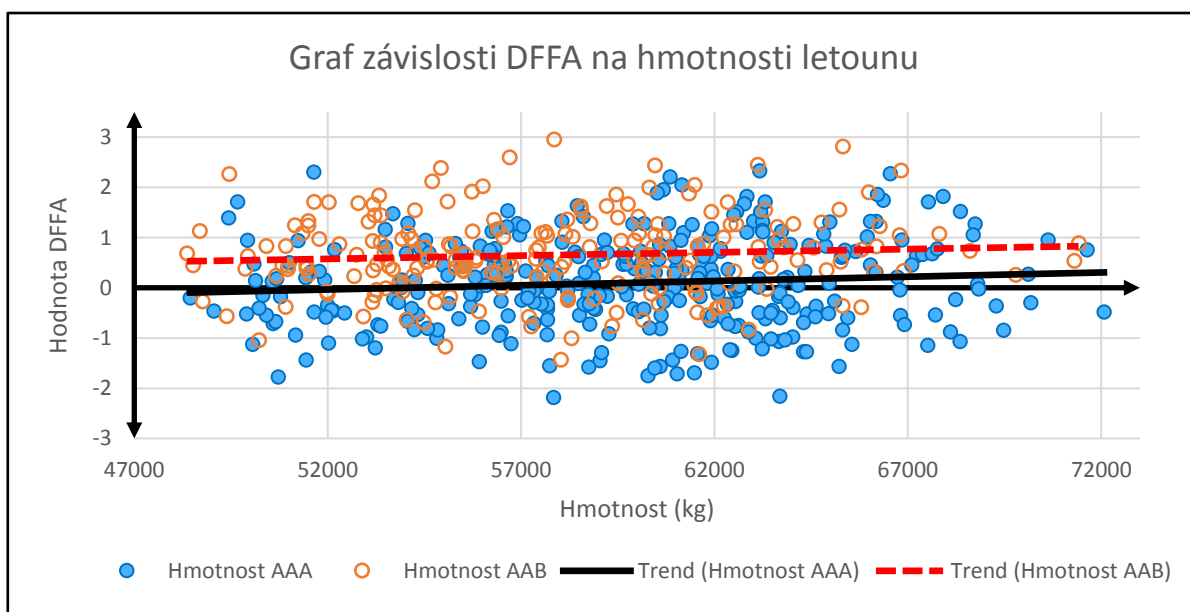
Důvodů, proč dolet u jednoho letounu, vinou opotřebení motorů, degraduje rychleji než u druhého, může být vícero. Za prvé, ačkoliv oba letouny byly provozovány za stejné období, letoun AAA je využíván víc. Dle slov provozovatele tomu tak bylo vždy. Je tedy logické, že u něj bude degradace vyšší. Proč tedy, když je stroj více opotřebovaný, narůstá degradace pomaleji? Nabízí se možnost, že vývoj degradace nemusí být zcela lineární. Vývoj degradace by mohl vypadat tak, že je rychlejší poté, co je letoun nový, a časem se nárůst degradace zpomaluje. Dalším důvodem může být rozdílné využívání letounů. Letouny, ačkoliv jsou typově stejné, mají rozdílné konfigurace. Rozdílné vnitřní vybavení letounů jde dobře vidět na poloze centráže, zobrazené na grafu níže. Z kapitoly „Faktory ovlivňující spotřebu paliva“ víme, že poloha centráže má vliv na výkon letounu. Odlišný styl ovládání stroje, z důvodu jiné polohy centráže, může tedy mít i odlišné nároky na výkony motorů, a tím i na jejich opotřebení.



Obrázek 14: Poloha centráže (v % SAT) letounu během různých letů. [vlastní zdroj]

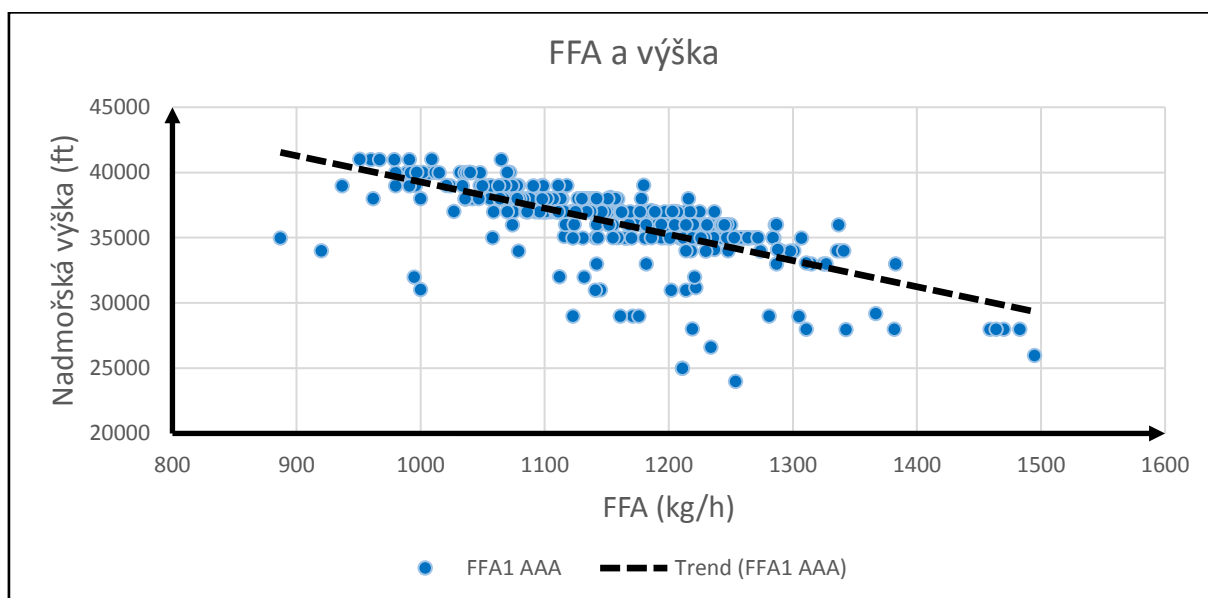
Z grafu je patrné, že letoun AAA mívá centráž posunutou více dozadu, blíže k neutrálnímu bodu.

Kromě DSR vypočítává PEP, na základě dostupných záznamů, i odchylky parametrů, ze kterých se výpočet DSR skládá. Příkladem může být odchylka v průtoku paliva vinou stavu draku (DFFA). Ta by měla být, dle PEP manuálu, teoreticky přímo ovlivněna hmotností letounu. Sesbíraná data na grafu níže tuto závislost potvrzují.



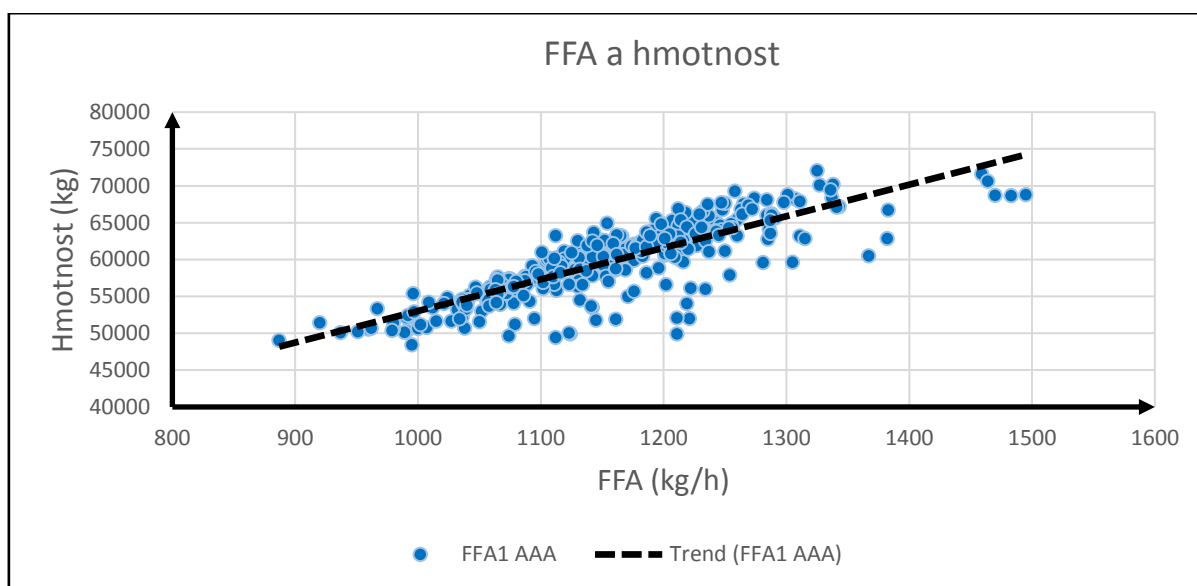
Obrázek 15: Graf zobrazující vztah mezi hmotností letounu a hodnotou DFFA. [vlastní zdroj]

Vybraná dostupná data zprávy lze použít i k ověření tvrzení z teoretické kapitoly Faktory ovlivňující spotřebu paliva. Na grafu níže jsou vyobrazeny hodnoty FFA ve vztahu k výšce letu. Lze na nich prokazatelně vidět, že množství paliva proudícího do motoru je nepřímo úměrné nadmořské výšce.



Obrázek 16: Graf naměřených hodnot FFA ve vztahu k výšce letu. [vlastní zdroj]

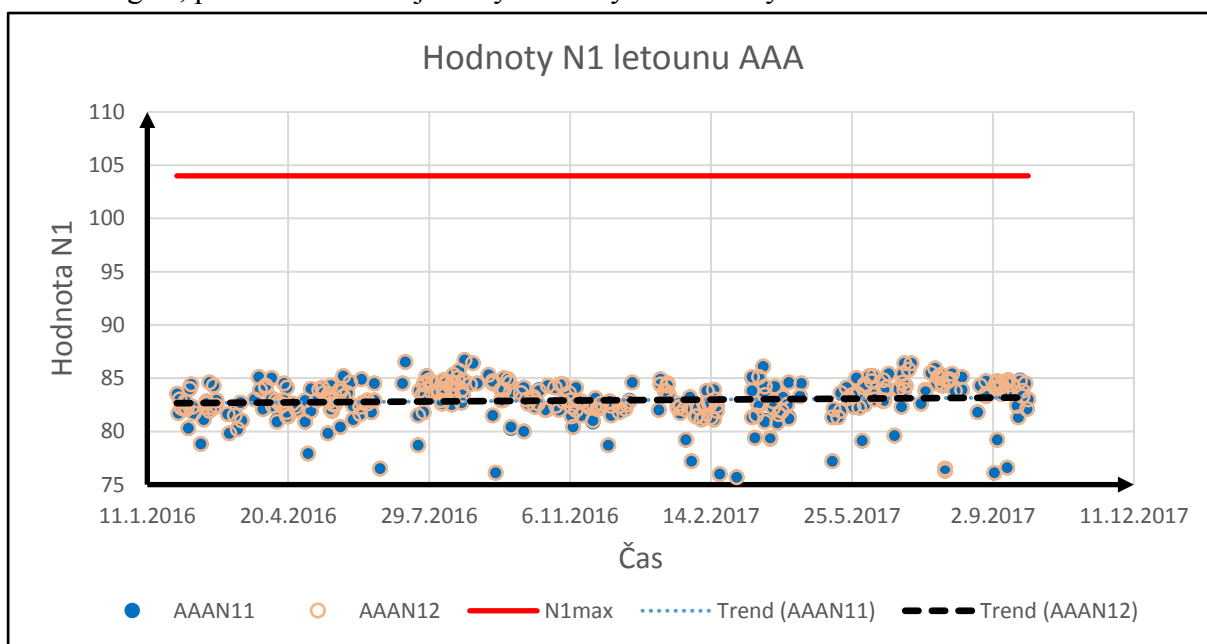
Rovněž následující graf dokazuje tvrzení, že množství spotřebovaného paliva je přímo úměrné hmotnosti letounu.



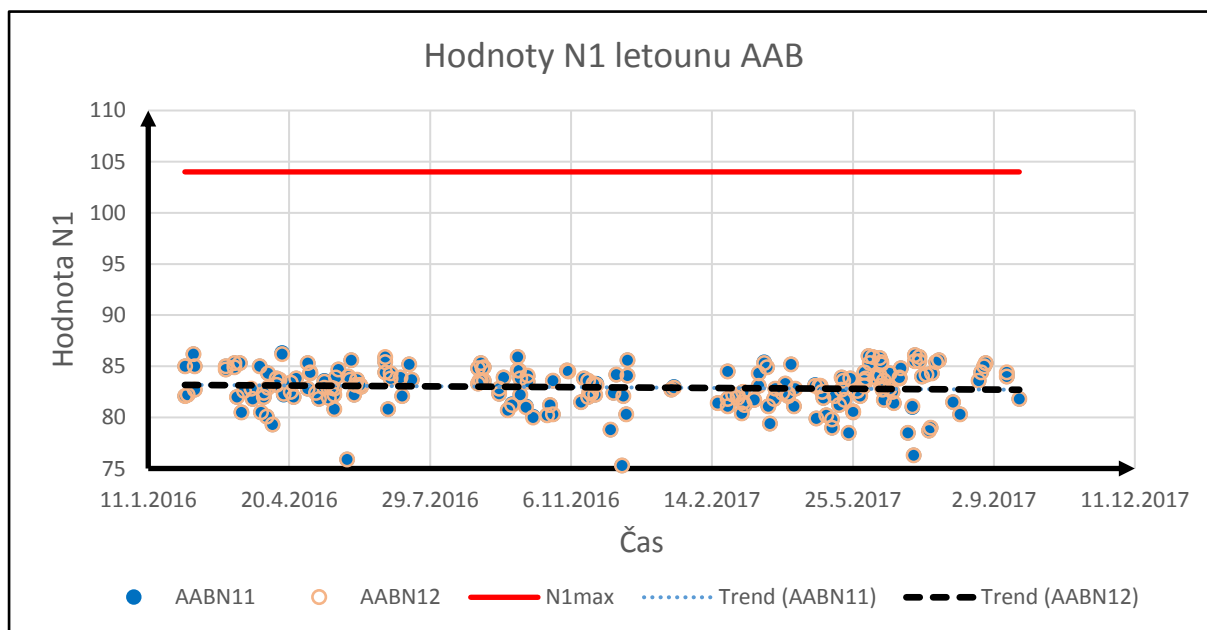
Obrázek 17: Graf naměřených hodnot FFA ve vztahu k hmotnosti letounu. [vlastní zdroj]

Výstup PEP lze dále použít ke kontrole hodnot parametrů, a to v tom smyslu, zdali nepřekračují určité meze. Hodnota parametru výrazně vyčnívající z množiny nebo blíží se kritické hodnotě může provozovateli sloužit jako prvotní indikátor potenciálního problému.

Jedním takovým parametrem, který je obsahem zpráv A02, je i N1, tedy otáčky motoru. Dle provozní příručky, kapitoly Controls and indicators, je normální hodnota N1 méně než 104 %. Při překročení této hodnoty je přístroj vyznačí červeně. Na grafech níže lze vidět hodnoty N1 v čase, tedy jednu hodnotu N1 pro jeden let. Každý letoun (AAA a AAB) má vlastní graf, přičemž na obou jsou vyobrazeny dva motory.



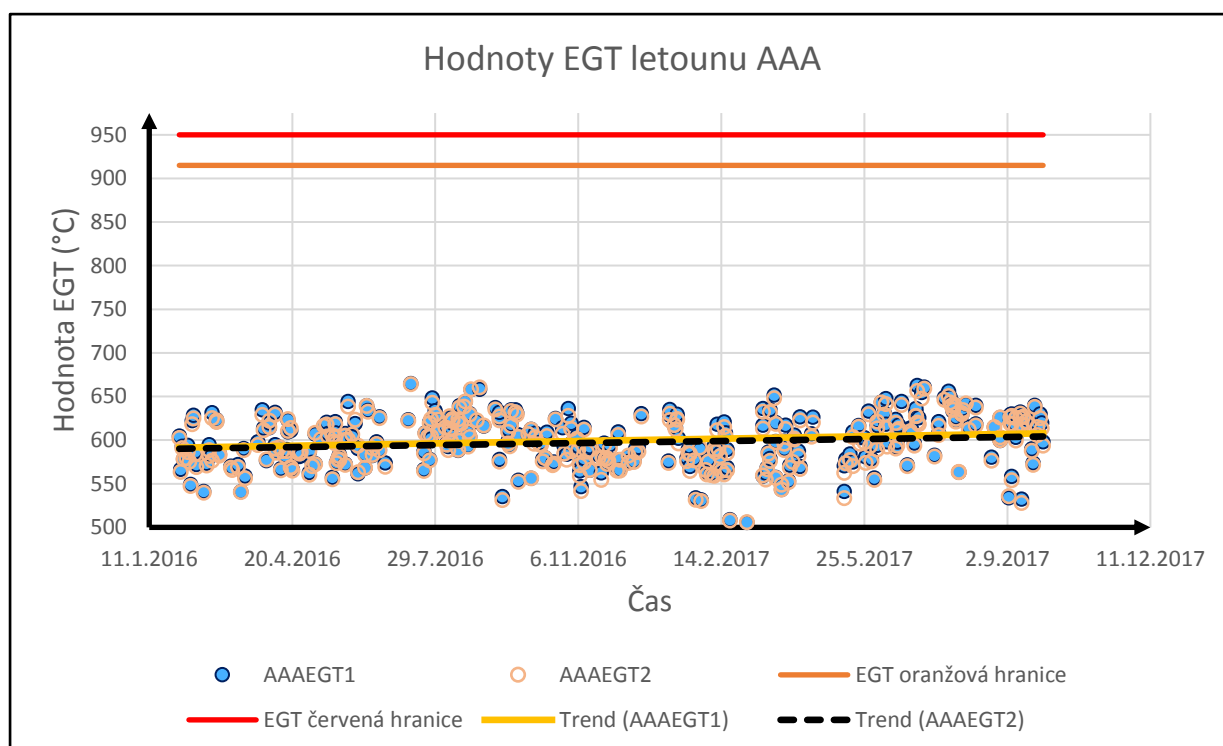
Obrázek 18: Hodnoty N1 během jednotlivých letů letounu AAA. [vlastní zdroj]



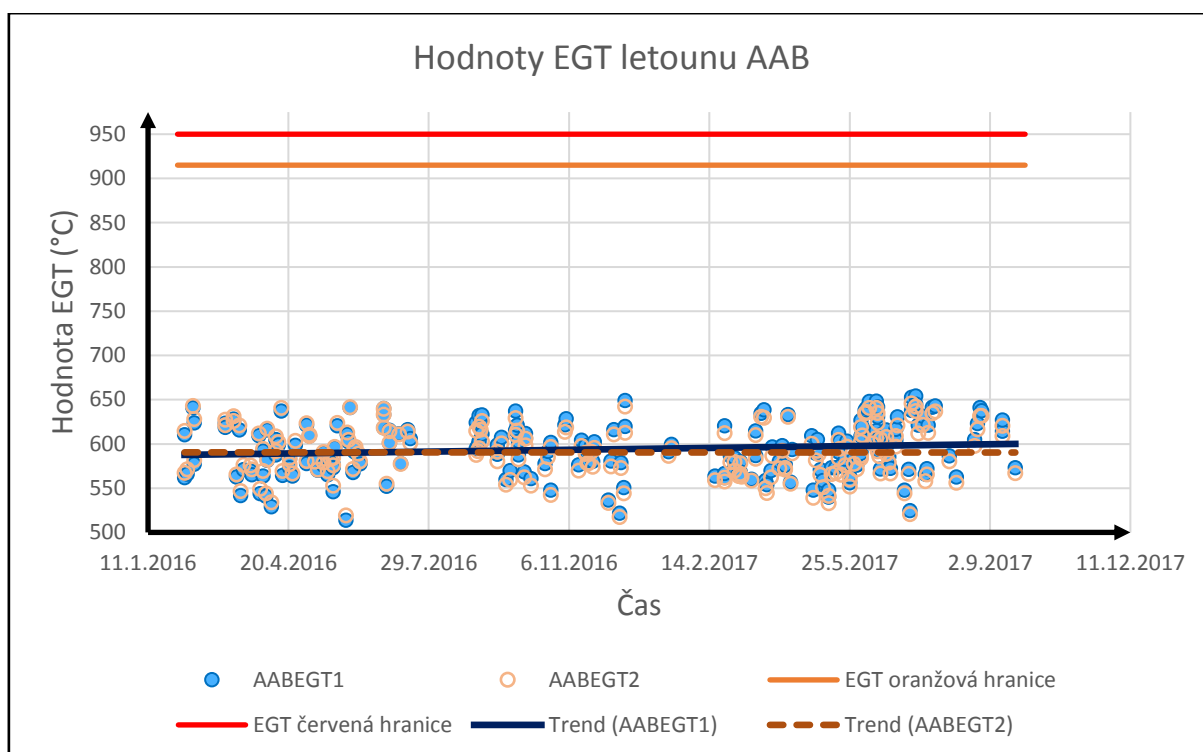
Obrázek 19: Hodnoty N1 během jednotlivých letů letounu AAB. [vlastní zdroj]

Na obou grafech lze vidět, že ani u jednoho letounu nebyla během provozu hodnota 104 překročena. Ze spojnic trendů je rovněž patrné, že není tendence k této hodnotě stoupat. Ačkoliv u letounu AAA lze vidět, že trend mírně narůstá, tímto tempem by to zhruba trvalo do roku 2 078. Z hlediska potřebných otáček motorů pro ustálený let v hladině tedy není nutné, aby provozovatel zpozorněl.

Druhým parametrem, u kterého je třeba kontrolovat, zdali je v povoleném rozsahu, je teplota výtokových plynů neboli EGT. Ta je vyhodnocena jako zelená, pokud je za letu v hladině teplota nižší než 915 °C nebo pokud je teplota při spuštění motoru nižší než 725 °C. Pokud překročí teplota za letu hodnotu 915 °C, pak to přístroje zdůrazní oranžovou barvou, a ještě teplota překročí 950 °C, potom červenou. Na grafech níže je opětovně zobrazena nasnímaná hodnota parametrů, jeden údaj pro jeden let.



Obrázek 20: Hodnoty EGT během jednotlivých letů letounu AAA. [vlastní zdroj]



Obrázek 21: Hodnoty EGT během jednotlivých letů letounu AAB. [vlastní zdroj]

U parametru EGT lze vidět, že byl po dobu provozu v intervalu povolených hodnot. Podobně jako u N1 je i zde vidět mírná tendence nárůstu. Co je ale zajímavější, je fakt, že u obou letounů je postupný nárůst teploty vyšší u prvního motoru než u druhého.

Celkově během měření nedošlo u žádného z motorů obou letounů k překročení limitů parametrů N1 a EGT.

5. Návrh automatizace vyhodnocení dat pomocí SW MS Excel

Vyhodnocování dat, tak jak je provedeno v předchozí kapitole, je sice užitečné, ale pro provozovatele může být zdoluhavé. V zájmu časového zefektivnění procesu analýzy je třeba proces urychlit, ideálně automatizovat.

K tomu lze opět využít program MS Excel a jeho podporu funkcí, formulářů a maker. Formuláře usnadní uživateli práci s programem, protože při správném návrhu jsou velmi návodné. Makra snižují nároky na uživatele ještě více, neboť umožňují využití funkcí stiskem jednoho tlačítka. Z těchto důvodů je součástí této práce návrh Excelovského programu pro rychlou analýzu dat typu A02.

5.1. Uživatelské prostředí a obsluha automatického vyhodnocení dat

Práce s programem začíná otevřením souboru, při kterém se objeví úvodní obrazovka, která je vyobrazena na následující straně. Zde je pozornost upoutána textovou částí nadepsanou „README“, která slouží k obeznámení uživatele s ovládáním programu. Zde je kopie textu pro lepší čitelnost než na ilustračním obrázku:

README

Tento program slouží ke třídění a porovnávání vybraných dat PEP výstupů. Aby program správně fungoval, je nutné dodržovat následující podmínky:

- U souboru je třeba „Povolit obsah/makra“ a „Povolit změny“.
- Je nutné vyplnit všechny pole formuláře.
 - Kopírovat jen samotné záznamy a vždy stejná Flight, Engine a APM Deviation data (totožnou množinu čísel, viz obrázek).
 - Při jakékoliv změně vstupů nejdříve smazat předchozí vyhodnocení tlačítkem „*Smazat Výsledky*“.
 - Při zadávání parametrů je možno použít tlačítko „*Kopírovat parametry 1 do parametrů 2*“, jsou-li u obou motorů limity stejné.
 - Po stisknutí tlačítka „*Spočítej*“ se na Listu1 objeví výsledky (ostatní listy jsou použity jen jako mezipaměti).
 - Seznam záznamů s barevně zvýrazněnými daty v zadaném intervalu jsou vyobrazeny napravo od tohoto textu.
- Při použití tlačítka „Spočítej Zálohovaná Data“ není zapotřebí opětovně vkládat Flight, Engine a APM data.
- Grafické zobrazení je vyobrazeno pod textem.
- Zadávací okno programu se spustí po stisknutí tlačítka „*Spustit Program*“.

Pod úvodním textem je graficky zvýrazněné velké tlačítko „Spustit Program“, kterým se zahájí práce s daty spuštěním prvního makra.

README

Tento program slouží ke třídění a porovnávání vybraných dat PEP výstupů.
Aby program správně fungoval je nutné dodržovat následující podmínky:

- U souboru je třeba "Povolit obsah/makra" a "Povolit změny"
- Je nutné vyplnit všechny pole formuláře
- Kopírovat jen samotné záznamy a vždy stejná Flight, Engine a APM Deviation data (totožnou množinu čísel, viz obrázek)

DATA BLOCK/FLEET: 1/ 1

CASE IDENTIFICATION

NO.	TAIL-NO	DATE	FL-NO	CASE	ESN1	ESN2
		D/M/Y		(UTC)		
1	OK-AAA	01/02/16	0005	15:10	697210	697217
2	OK-AAA	02/02/16	0005	20:34	697210	697217
3	OK-AAA	01/02/16	0113	14:50	697210	697217
4	OK-AAA	04/02/16	0113	12:23	697210	697217
5	OK-AAA	06/02/16	0105	04:53	697210	697217
6	OK-AAA	07/02/16	0105	06:01	697210	697217
7	OK-AAA	08/02/16	0005	19:40	697210	697217
8	OK-AAA	09/02/16	0005	16:46	697210	697217

FLIGHT DATA

ALT	MACH	TAT	WEIGHT	CG	FFAC	VV	GRV
FEET	-	C	KG	%	G	FT/MIN	M/S*5
17000	0.770	27.45	55810	26.0	0.00015	11.0	9.7847
17004	0.7820	19.30	57180	26.2	0.00130	11.0	9.7801
16500	0.7820	-11.80	61200	26.6	0.00025	2.6	9.7426
16001	0.7850	-33.50	56120	22.0	0.00010	2.6	9.7701
17000	0.7825	-12.40	60200	27.5	0.00015	6.0	9.7304
13001	0.7830	17.25	63345	26.0	0.00005	1.5	9.7134
17012	0.7850	-36.95	60600	25.2	0.00110	28.0	9.7402
16001	0.7875	-15.40	60000	23.0	0.00005	15.0	9.7020

AAA_2016_PEP_OUTPUT - Poznamkovy blok

Seznam Úpravy Formát Zobrazit Návod

ENGINE DATA

NO.	N11	N12	FFA1	FFA2	EGT1	EGT2	BC	MFL	MFLR	FLHR	N1TH	FFTH	FFC1	FFC2	EGTC1	EGTC2
	%	%	KG/H	KG/H	C	C		KG/S	KG/S	BTU/LB	%	KG/H	KG/H	KG/H	C	C
1	81.50	81.50	1851.0	1856.0	560.7	562.1	0.340	0.340	18590	81.11	1001.1	1007.9	1007.9	573.7	571.7	
2	81.70	81.70	1869.0	1881.0	564.1	563.5	0.340	0.340	18594	81.71	1044.1	1044.7	1044.7	560.0	560.0	
3	81.00	81.00	1164.0	1160.0	592.8	590.7	0.430	0.430	18590	82.00	1102.5	1114.5	1114.5	505.5	505.5	
4	82.20	82.20	1875.0	1877.0	570.2	570.1	0.340	0.340	18590	82.00	1021.5	1021.4	1020.6	551.1	551.1	
5	81.10	81.10	1117.0	1114.0	582.1	579.3	0.430	0.430	18590	82.44	1001.1	1006.0	1006.0	552.6	552.6	
6	73.00	73.00	1774.0	1770.0	574.0	570.7	0.430	0.430	18590	83.40	1247.8	1229.0	1229.0	570.5	570.5	
7	82.10	82.10	1140.0	1144.0	575.6	575.2	0.430	0.430	18590	82.25	1109.9	1100.8	1100.8	549.3	549.3	
8	80.30	80.30	1001.0	1000.0	549.2	547.2	0.340	0.340	18590	80.19	958.9	963.7	963.7	523.4	523.4	

-Při jakékoliv změně vstupů nejdříve smazat předchozí vyhodnocení tlačítkem "Smazat Výsledek"

Při zadávání parametrů je možno použít tlačítko "Kopírovat parametry 1 do parametrů 2", jsou li u obou motorů limity stejné.

Po stisknutí tlačítka "Spočítej" se na Listu1 objeví výsledky (ostatní listy jsou použity jen jako mezipaměti)
 Při použití tlačítka "Spočítej Zálohovaná Data" není zapotřebí opětovně vkládat Fligt, Engine a APM data.
 Seznam záznamů s barevně zvýrazněnými daty v zadaném intervalu jsou vyobrazeny napravo od tohoto textu.
 Grafické zobrazení je vyobrazeno pod textem.
 Zadávací okno programu se spustí po stisknutí tlačítka "Spustit Program"



Obrázek 22: Úvodní obrazovka programu. [vlastní zdroj]

První makro otevře formulář, na obrázku níže, který slouží k zadávání dat. Zde se zadávají dva typy dat.

Vstup: Flight Data

Vstup: Engine Data

Vstup: APM Deviation Data

N11 min *N11 max* *FFA1 min* *FFA1 max* *EGT1 min* *EGT1 max*

Kopírovat parametry 1 do parametrů 2

N12 min *N12 max* *FFA2 min* *FFA2 max* *EGT2 min* *EGT2 max*

DSR min *DSR max* Tato hodnota by neměla překračovat 950

Spočítej

Smazat Výsledky

Spočítej Zálohovaná Data

Obrázek 23: Formulář pro zadání vstupů a spuštění vyhodnocení. [vlastní zdroj]

Prvním jsou samotné zkoumané záznamy, tedy výstupy z PEP. Zde je třeba data rozdělit. Do kolonky „**Vstup: Flight Data**“ vložit pouze příslušnou část PEP výstupu, a to samé platí i o kolonkách „**Vstup: Engine Data**“ a „**Vstup: APM Deviation Data**“. Přitom je třeba dodržet pokyny z „README“, neboť při nezachování správného formátu vstupních dat nebude zbytek programu fungovat správně.

Následují data, která si už uživatel stanovuje sám. Řada menších kolonek slouží k zadávání hraničních hodnot sledovaných parametrů. Každé okénko je nadepsáno jménem daného parametru a zdali se má jednat o minimální či maximální hodnotu. Pro usnadnění obsluhy obsahuje každá kolonka nápovědu, ve které je uveden interval, v němž se hodnoty daného parametru obvykle pohybují. Počet položek k vyplnění je tedy počet parametrů krát 2. Ovšem sledujeme-li vícero motorů, tak se toto číslo dále násobí. Z tohoto důvodu je ve

formuláři tlačítko „**Kopírovat parametry 1 do parametrů 2**“, které vyplní pole pro druhý motor podle hodnot z kolonek pro první motor. Tato jednoduchá funkce je užitečná úměrně počtu sledovaných parametrů a motorů. Navíc jsou zde k tomu dvě kolonky pro zadání sledovaných hodnot DSR.

Pod textovými poli pro vyplňování vstupů se nacházejí tři tlačítka. Každé z nich spustí jinou část programu. Po jeho doběhnutí formulář zavřou a přemístí uživatele na výslednou oblast.

Menší a umístěné uprostřed je „**Smazat Výsledky**“, které slouží k vyčištění programu. Například, zjistí-li uživatel při první kontrole, že parametry vyhovují a chce hranice zpřísnit, tak je zapotřebí předchozí vyhodnocení nejdříve odstranit. V opačném případě by se v programu hromadila neaktuální data.

Níže se nachází tlačítko „**Spočítej Zálohovaná Data**“. Pokud má uživatel uložená data na listu Zálohy, může s pomocí tlačítka provést rychlé vyhodnocení všech dat. Výhoda této funkce je to, že není třeba opětovně vkládat data do vstupních kolonek, ale stačí vyplnit hodnoty min. a max.

Největší tlačítko „**Spočítej**“ je nejdůležitější částí programu. Tlačítko má dvojí funkci. Zprvė chrání makro před selháním. Zjistí-li program po stisknutí tlačítka, že některé kolonky jsou nevyplněné, program nespustí. Místo toho přesune uživatele na danou kolonku. Při vyplnění všech kolonek se program spustí a na úvodní obrazovce zobrazí vyhodnocená data. Toto vyhodnocení proběhne následujícím postupem.

5.2. Proces automatického vyhodnocení dat

Celý postup je v podstatě kompilací jednodušších maker, které jsou logicky seřazeny. Makra přitom není nutné v prostředí Visual Basic psát úplně od nuly. Funkce Excelu pro záznam maker umožňuje nahrát modelové makro a následně zobrazit jeho zdrojový kód. Na základě toho je možné formát zápisu okopírovat a následně jen upravovat proměnné. Všechna makra lze ještě rozdělit do fází podle toho, kterou část práce s daty provádějí.

V první fázi je třeba vstupní data připravit. Vložené vstupy jsou z formuláře překopírovány na své vlastní listy souboru, které slouží jako prostor pro další zpracování. Zde je třeba provést následující tři úpravy formátu:

1. Nahradit tečky čárkami. Ve vstupech je použit symbol tečky (.), ale excel má snahu interpretovat vše s tečkou jako datum. Je tedy použita funkce nahrazení, kde místo tečky (.) je dosazena čárka (,).
2. Nahradit lomítka za tečky čárkami. V zápisu záznamu data jsou dny, měsíce a roky odděleny lomítkem (/). Je použita stejná funkce. Nahrazení lomítka (/) za tečku (.) musí proběhnout až po prvním kroku, aby byl zachován formát data.
3. Záznam, který je obsažen v 1 buňce, rozdělit do vícero buněk. Zde poslouží funkce „Text do sloupců“, kde je zvolena mezera jako oddělovač.

Pro případ že by uživatel chtěl prohlížet tato data, je vložena funkce automatického popisku sloupců, aby bylo jasné, jaká data jsou ve sloupcích obsažena.

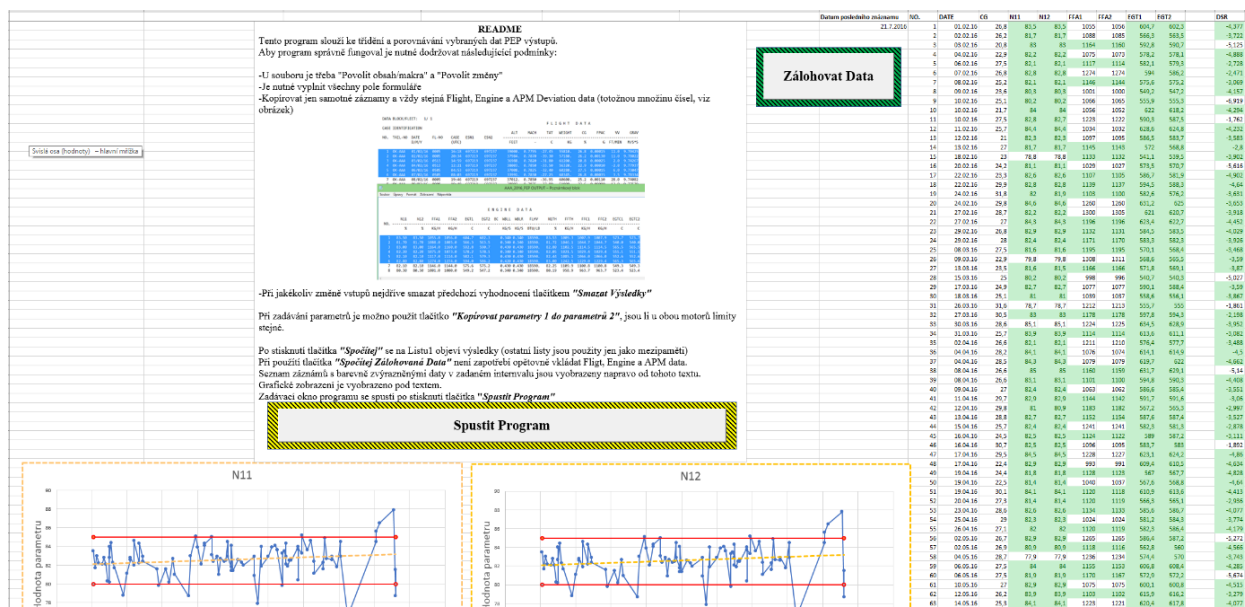
Ve druhé fázi začíná vyhodnocování dat. Program vybere určité sloupce z pracovních listů a zkopíruje je na zobrazovací List 1. Zde jsou hodnoty splňující zadaný interval zvýrazněny. Toho je dosaženo pomocí podmíněného formátování. Makro automaticky vybere příslušné sloupce a za hraniční hodnoty doplní hodnoty zadané dříve do formuláře.

V následující fázi program vygeneruje grafické zobrazení výsledků. Toho je docíleno skrze XY grafy. Každý graf obsahuje čtyři prvky:

1. Křivku reprezentující změnu hodnot daného parametru. Na ose X je zaneseno datum záznamu a na ose Y hodnota parametru.
2. Úsečka reprezentující maximální přípustnou hodnotu parametru.
3. Úsečka reprezentující minimální přípustnou hodnotu parametru.
4. Lineární spojnici trendu.

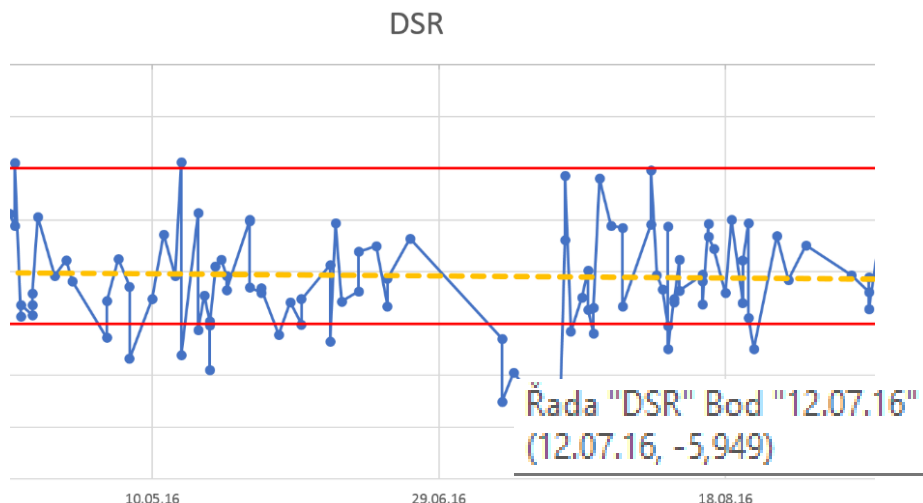
5.3. Výstup automatického vyhodnocení dat

Díky výslednému zobrazení je mnohem snadnější, a hlavně rychlejší určení hodnot mimo zvolený interval. Vzhled výsledné strany je zobrazen níže.



Obrázek 24: Výsledná obrazovka programu. [vlastní zdroj]

Makro je napsáno tak, aby se po dokončení všech operací vrátilo zpět na první list souboru. Napravo od instrukcí k obsluze programu jsou vybraná data seřazena do sloupečků a, pakliže se pohybují v zadaném intervalu, jsou i barevně zvýrazněna. Pod instrukcemi jsou data vyobrazena formou grafů. Množství dat viditelných na první pohled po skončení makra je přímo úměrné velikosti používaného monitoru, nicméně neprobíhá-li žádné makro, pak je možné se po listu volně pohybovat. Ilustrační obrázek je záměrně takto malý, aby bylo vidět, jak je, díky podmíněnému formátování, snadné spatřit hodnoty uvnitř či mimo zadaný rozsah. V případě grafů se vyplatí bližší pohled. Jeho výhodou je, že při najetí kurzorem na daný bod, se objeví informace o bodu, tedy číslo záznamu a hodnota parametru. Například na obrázku níže lze vidět, že v záznamu z 12.07.16 byla hodnota DSR -5,949. Díky tomu se může uživatel podívat na daný záznam a zjistit, jestli jsou hodnoty ostatních parametrů v pořádku nebo rovněž mimo zadaný interval.



Obrázek 25: Část výsledného grafu DSR a zobrazení hodnot konkrétního bodu.

[vlastní zdroj]

V oblasti mezi úvodní obrazovkou a sloupčky s výslednými hodnotami je umístěno tlačítko „**Zálohovat Data**“. To slouží k uložení čísel na list Zálohy za účelem archivace. Ukládají se pouze výstupní data, nikoliv původní vstupy. Tlačítko „**Smazat Výsledky**“, uvedené v předchozí podkapitole, se na zálohovaná data nevztahuje. Namísto něj je přímo na listu Zálohy tlačítko „**Smazat Zálohy**“. Po jeho spuštění je uživatel prostřednictvím formuláře ještě dotázán, zdali si opravdu přeje zálohy vymazat.

Návrh na zpracování dat, obsažený v této práci, vyhodnocuje 4 parametry (N1, FFA, EGT, DSR). Tento seznam lze ovšem docela snadno rozšířit, neboť styl zápisu makra pro vyhodnocení všech parametrů je více méně stejný. Pro případné rozšíření by uživateli stačilo zkopírovat kód již existujícího vyhodnocení a pouze v něm upravit proměnné. Nově vytvořené úseky musí být nejen správně upraveny, ale i dosazeny na správnou pozici v rámci celku. Vzhledem k seřazení jednotlivých příkazů by při nesprávném doplnění došlo k přerušení návaznosti a program by neproběhl v úplnosti nebo úplně zhavaroval. I při správné úpravě je ovšem potřeba počítat s faktem, že navýšení počtu proměnných zvyšuje nároky na program a mohlo by i dojít, obzvláště u výkonově slabších počítačů, ke zpomalení programu. Zde jsou ukázky úseků kódu, kterými lze při úpravě podtržených proměnných makro rozšířit o další parametry.

- Nespuštění programu a navrácení na danou nevyplněnou **kolonku**.

```
If N12min.Text = "" Then
Cancel = 1
MsgBox "Engine Data nevyplněna"
```

```

EngineData.SetFocus
Exit Sub
End If

```

- Podmíněné formátování zobrazených údajů na základě **zadaného intervalu hodnot**.

```

Selection.FormatConditions.Add
Type:=xlCellValue,Operator:=xlBetween, _
Formula1:=Výpočet.N12min.Value,
Formula2:=Výpočet.N12max.Value
With Selection.FormatConditions(1).Interior
.PatternColorIndex = xlAutomatic
.Color = 13561798
.TintAndShade = 0
End With

```

Na těchto dvou příkladech lze vidět, že i uživatel bez rozsáhlých programátorských dovedností může vytvářet složitější makra. Pakliže má k dispozici knihovnu se zápisy jednodušších funkcí a je nadán logickým uvažováním, může snadno kompletovat i komplexní celky.

Na rozdíl od Performance Engineering Programs popsaném v předchozí kapitole nejsou tato excelovská makra oficiálním nástrojem společnosti Boeing či jiného výrobce. Důvěryhodnost výsledků tedy záleží výhradně na znalostech a schopnostech autora programu. Ten ale má možnost zpracovat data pro uživatele, kterého zná, nejvhodnějším způsobem. Navíc je vždycky jednodušší pracovat s nástrojem, na jehož vývoji se uživatel podílel. Výstup takového programu je pro uživatele přívětivější, protože:

- nadbytečná data jsou odfiltrována,
- relevantní data jsou přehledněji roztržďena,
- významné hodnoty jsou zvýrazněny.

Výsledkem je snazší a rychlejší zorientování v informacích, což je prospěšné jak pro efektivitu, tak pro bezpečnost.

6. Závěr

Obsahem této práce bylo uvést přehled dat generovaných soudobým dopravním letounem za provozu a analyzovat možnosti jejich využití. To zahrnuje i výčet systémů jak pro uchování dat, tak i telemetrický přenos. Hlavním cílem práce bylo navrhnout způsobů využití dat obdržených právě telemetrickým přenosem pro zvýšení bezpečnosti a efektivity letecké dopravy.

Teoretická část práce se zabývala letovými zapisovači a systémy pro telemetrický přenos dat. Obsahem byly předpisové požadavky, konstrukce zařízení, jejich využití, výčet zaznamenaných parametrů a jejich využití. Druhá teoretická kapitola pojednávala o letounu provozovatele, jehož údaje byly v praktické části práce zpracovávány. Dále byl zmíněn význam údržby letounu, organizace zodpovědné za letovou způsobilost letounů a faktory mající vliv na spotřebu paliva letounu.

Praktická část práce, kapitoly 4 a 5, se zakládala na práci s množinou systémových zpráv DMU získaných od provozovatele. V rámci zpracování této kapitoly bylo dosaženo následujících druhů výsledků.

Nejdříve byl vytvořen postup pro usnadnění práce se zprávami pro provozovatele. Výsledný postup pomocí série jednoduchých funkcí, které jsou již součástí nástrojů MS Office, odbourává nutnost manuálního třídění příchozích zpráv. Proces třídění a vybírání relevantních dat pro další zpracování se zkrátil z řádu několika hodin na 10 minut.

Následně byla data, která byla vyselektována předchozím postupem, zpracována pomocí Performance Engineering Programs a jeho výstup byl podroben analýze. Na základě příručky k PEP byly zvoleny konkrétní parametry a jejich hodnoty byly zkontrolovány. Bylo zkontrolováno, zdali nedošlo k překročení kritických hodnot, a byl sledován trend jejich vývoje v čase. U parametru pro provozovatele nejdůležitějšího, DSR, byla provedena predikce vývoje parametru v budoucnosti.

Nakonec byl navržen program pro rychlejší zpracování dat. Pomocí programů MS Excel a Visual Basic bylo vytvořeno modelové makro sdružující řadu jednodušších funkcí, které by jinak musel uživatel aplikovat manuálně sám. Základní funkce spočívá v protřídění vložených dat a vytvoření výstupu, který je díky použité grafice mnohem jednodušší pro rychlé pochopení a případné odhalení hodnot mimo interval zvolený uživatelem. Rovněž

byly vloženy funkce pro zálohování výsledných dat a funkce pro rychlé vyhodnocení veškerých archivovaných dat.

Celkově je z celé práce nejefektivnější první produkt praktické části, tedy selekce dat. Výsledný postup je snadný, bylo možno ho okamžitě otestovat a provozovatel si díky němu pravidelně ušetří několik hodin práce. Makro pro rychlé vyhodnocování je rovněž účinný nástroj, ovšem zde je nutno počítat se složitějším zavedením kvůli náchylnosti maker k problémům s kompatibilitou programu MS Office. Na druhou stranu, umí-li provozovatel s makry pracovat, může si jejich prostřednictvím velmi zefektivnit práci. Přínos analýzy výstupních dat spočívá v potvrzení informací z příručky k PEP reálnými naměřenými hodnotami, jako například to, že degradace doletu a zvyšování teploty výtokových plynů motorů mají spojitost.

Poděkování

Nakonec bych rád poděkoval vedoucímu mé diplomové práce doc. Ing. Vladimíru Smržovi, Ph.D., za odbornou pomoc, rady, připomínky, a hlavně za umožnění přístupu k provozovateli a zajímavým datům.

Zdroje

Tištěné zdroje

- [1] VOLNER, Rudolf. *Flight planning management*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. ISBN 978-80-7204-496-2.
- [2] DRAXLER, Karel, Jan ROHÁČ a Vít FÁBERA. *Digitální technologie/elektronické přístrojové systémy: studijní modul 5*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. Učební texty dle předpisu JAR-66. ISBN 80-7204-311-0.
- [3] ČIŽMÁR, Jan a Miroslav TRUBAČ. *Přístrojové vybavení (022)*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. Učební texty pro teoretickou přípravu dopravních pilotů dle předpisu JAR-FCL 1. ISBN 80-7204-445-1.
- [4] EISMIN, Thomas K. *Aircraft electricity and electronics*. 5th ed. New York: McGraw-Hill, c2014. Aviation. ISBN 978-0-07-179915-7
- [5] HANÁK, Ján. *Programování v jazyce Visual Basic 2010*. Kralice na Hané: Computer Media, 2011. ISBN 978-80-7402-112-1

Elektronické zdroje

- [6] *Letecký předpis L 6 Provoz letadel část I. Letecká provozní služba* [online]. [cit. 2020-04-09]. Dostupné z: https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-6/L-6i/data/print/L-6-I_cely.pdf
- [7] *Getting to grips with aircraft performance monitoring*. AIRBUS CUSTOMER SERVICES DIRECTORATE [online]. [cit. 2020-04-09]. Dostupné z: http://www.smartcockpit.com/docs/Getting_To_Grips_With_Performance_Monitoring.pdf
- [8] *Continuing Airworthiness - SKYbrary Aviation Safety*. [online]. Dostupné z: https://www.skybrary.aero/index.php/Continuing_Airworthiness
- [9] *Part M Continuing Airworthiness managements Organization*. ICAO [online]. [cit. 10.04.2020]. Dostupné z: <https://www.icao.int/MID/Documents/2019/ACAO-ICAO%20Airworthiness/Session%207%20Part%20M%20CAMO%20final.pdf>

- [10] *Wind map & weather forecast*. Windy: Wind map & weather forecast. *Windy*: [online]. [cit. 2020-04-09]. Dostupné z: <https://www.windy.com/?200h,49.849,18.270,5>
- [11] *Air Pressure at Altitude Calculator*. Mide Technology Engineering Research & Development [online]. [cit. 2020-04-09]. Dostupné z: <https://www.mide.com/air-pressure-at-altitude-calculator>
- [12] *Letadlová flotila | České aerolinie*. České aerolinie a.s. [online]. [cit. 09.04.2020]. Dostupné z: <https://www.csa.cz/cz-cs/letadlova-flotila/>
- [13] *This Underwater Microphone Could Find MH370 | WIRED*. WIRED [online]. [cit. 09.04.2020]. Dostupné z: <https://www.wired.com/2014/03/navy-tow-fish-mh370/>
- [14] *Cockpit voice recorder cvr 3D model - TurboSquid 1428912*. TurboSquid [online]. [cit. 09.04.2020]. Dostupné z: <https://www.turbosquid.com/3d-models/cockpit-voice-recorder-cvr-3d-model-1428912>
- [15] *MS Excel: VBA #1 - programujeme vlastní makro – YouTube*. YouTube [online]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=IILFL3IXKk4&list=PLLRkR3-LRzSBwyVJ0Od65lQhF3j3NIPA8>
- [16] *MS Excel: VBA makra formuláře / UserForm – Tvorba vlastního formuláře (1/5) - YouTube*. YouTube [online]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=EVEExYJHqLXM&list=PLLRkR3-LRzSCkgdkUCFa3AmmoQNbhG0sb>